

Jenna Heiskanen

## **KIINTEISTÖJEN TAVOITTEELLINEN JA TOTEUTUNUT ENERGI- ANKULUTUS**

# **KIINTEISTÖJEN TAVOITTELLINEN JA TOTEUTUNUT ENERGI- ANKULUTUS**

Jenna Heiskanen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Jenna Heiskanen

Opinnäytetyön nimi: Kiinteistöjen tavoitteellinen ja toteutunut energiankulutus

Työn ohjaajat: Sami Antikainen (Iisalmen kaupunki) ja Timo Kiviahde (Oamk)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 62 + 7 liitettä

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Iisalmen kaupungin koulujen, päiväkotien ja toimistorakennusten tavoitteellinen energiankulutus ja vertailla tätä toteutuneisiin kulutuksiin. Tavoitteellisella energiankulutuksella tarkoitetaan kiinteistöstrategian mukaisten sisäilmaolosuhteiden vaatimaa energiankulutusta. Lisäksi työssä tavoitteena oli tarkastella kiinteistöjen mahdollisia energiansäästökeinoja.

Kiinteistöjen tavoitteellisen energiankulutuksen selvittämistä varten työssä luotiin ensin Excel-laskuri, jolla voidaan arvioida rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Tavoitteellisen energiankulutuksen laskentaan tarvittavat tiedot kohdekiinteistöistä kerättiin FacilityInfo-huoltokirjajärjestelmästä. Kiinteistöjen toteutuneet energiankulutustiedot saatiin Savon Voiman PriWatti-palvelusta. Tavoitteellinen ja toteutunut lämmitysenergiankulutus normeerattiin, jotta ne olisivat keskenään vertailukelpoisia. Lopuksi työssä tarkasteltiin laskurin avulla eri tekijöiden, kuten ilmanvaihdon käyntiaikojen muutoksien vaikutuksia kiinteistön lämmitys- ja sähköenergiankulutukseen.

Opinnäytetyön laskentamenetelmällä saadut tulokset eivät ole täysin totuudenmukaisia. Syinä tähän ovat muun muassa rakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytetyt yksinkertaistetut laskentamenetelmät sekä tietojen puute kohdekiinteistöistä. Puuttuvat tiedot korvattiin ohjearvoilla, mikä osaltaan aiheutti tuloksiin epätarkkuutta. Työn lopputuloksena saadut tavoiteltavat energiankulutuslukemat ovat kuitenkin suuntaa antavia.

---

Asiasanat: energiankulutus, energiansäästö, kasvihuonekaasupäästöt

## ALKULAUSE

Haluan esittää kiitokset Iisalmen kaupungin tekniselle osastolle mielenkiintoisen aiheen tarjoamisesta. Erityiset kiitokset haluan esittää Sami Antikaiselle työni ohjaamisesta.

Haluan kiittää lämpimästi myös kaikkia Oulun ammattikorkeakoulun opettajia hyvästä opetuksesta, jota sain neljän opintovuoteni aikana. Erityiset kiitokset Timo Kiviahteelle opinnäytetyöni ohjaamisesta.

Lisäksi esitän suuret kiitokset perheelleni, joka tuki minua koko opiskeluajan.

Iisalmessa 4.6.2018

Jenna Heiskanen

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
LYHENTEET JA MERKKIEN SELITYKSET	7
1 JOHDANTO	11
2 RAKENNUKSEN ENERGIAANTARVE	13
2.1 Sisäilmasto	13
2.2 Lämmitysjärjestelmä	15
2.3 Ilmanvaihtojärjestelmä	16
2.4 Kiinteistön käyttäjien kulutustottumukset	17
3 RAKENNUKSEN LASKENNALLINEN ENERGIAANKULUTUS	19
3.1 Laskennan vaiheet	20
3.2 Laskennan lähtötiedot	21
3.3 Rakennuksen energiankulutus	21
3.4 Tilojen lämmitysenergian tarve	22
3.5 Ilmanvaihto	23
3.5.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus	23
3.5.2 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus	24
3.6 Lämmin käyttövesi	25
3.6.1 Lämpimän käyttöveden kierto	26
3.6.2 Lämpimän käyttöveden varastointi	27
3.7 Valaistus ja kuluttajalaitteet	28
3.8 Lämpökuormat	29
3.9 Lämmitysjärjestelmä	31
4 TUTKIMUSKOhteet JA -MENETELMÄT	33
4.1 Tavoitteellinen ja toteutunut energiankulutus	33
4.2 Säätiiedot ja lämmitysenergiankulutuksen normitus	34
5 ESIMERKKIKOhteEN ENERGIALASKELMAT	38
5.1 Laskennan lähtötiedot ja -oletukset	38
5.2 Tilojen lämmitysenergianantarve	39
5.2.1 Johtumislämpöhäviöt	39

5.2.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	42
5.2.3 Tuloilman lämpeneminen tilassa	42
5.2.4 Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve	43
5.3 Ilmanvaihtojärjestelmä	43
5.4 Käyttövesijärjestelmä	45
5.5 Valaistus ja kuluttajalaitteet	46
5.6 Tiloihin vaikuttavat lämpökuormat	47
5.7 Lämmitysjärjestelmä	50
5.8 Laskennan tulokset	51
6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	52
7 KIIINTEISTÖJEN CO <sub>2</sub> -PÄÄSTÖTARKASTELU	56
7.1 Kaukolämmönkäytön ja sen kulutusmuutosten CO <sub>2</sub> -päästöjen laskenta	57
7.2 Sähkönkäytön ja sen kulutusmuutosten CO <sub>2</sub> -päästöjen laskenta	57
8 YHTEENVETO	59
LÄHTEET	61
Liite 1 Kauppiis-Heikin koulun tavoitteellisen energiankulutuksen laskenta	

## LYHENTEET JA MERKKIEN SELITYKSET

a	numeerinen parametri
$A_i$	rakennusosan pinta-ala ( $m^2$ )
$A_{ikk}$	ikkuna-aukon pinta-ala kehys- ja karmirakenteineen ( $m^2$ )
$A_{netto}$	lämmitetty nettoala ( $m^2$ )
$A_{vaippa}$	rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna) ( $m^2$ )
$C_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/(kg K))
$C_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/(kg K))
$C_{rak}$	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti (Wh/K)
Energiatehokkuusasetus	Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (2017)
$F_{läpäisy}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$G_{säteily,pystypinta}$	pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti (kWh/( $m^2$ kk))
$H_{tila}$	rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (W/K)
k	käyttöaste
$k_2$	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään
$K_1$	sähkönmyyjän ilmoittama laskennallinen CO <sub>2</sub> -päästökerroin
$K_2$	Suomen keskimääräinen sähkönhankinnan CO <sub>2</sub> -päästökerroin
l <sub>kv</sub>	lämmin käyttövesi
$L_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus (m)
Laskentaohje	Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta -ohje. Ohje kuuluu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan

P	sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti (W/m <sup>2</sup> )
P <sub>lkv,pumppu</sub>	lkv:n kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho (W)
Q	lämmitysenergia
q <sub>50</sub>	rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m <sup>3</sup> /(hm <sup>2</sup> ))
Q <sub>alapohja</sub>	johtumishäviöt alapohjan lävitse (kWh)
Q <sub>aur</sub>	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringonsäteilyenergia (kWh)
Q <sub>henk</sub>	henkilöiden luovuttama lämpöenergia
Q <sub>iv,korvausilma</sub>	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)
Q <sub>iv,tuloilma</sub>	tuloilman tilassa tapahtuva lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)
Q <sub>joht</sub>	johtumishäviöt rakennuksen vaipan lävitse (kWh)
Q <sub>kylmäsilat</sub>	johtumislämpöhäviö kylmäsiltojen läpi (kWh)
Q <sub>lkv, kierto</sub>	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö (kWh)
Q <sub>lkv,kierto,kuorma</sub>	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus (kWh/a)
Q <sub>lkv, netto</sub>	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve (kWh)
Q <sub>lkv, varastointi</sub>	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö (kWh)
Q <sub>lkv, varastointi,kuorma</sub>	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus (kWh)
Q <sub>lämmitys</sub>	lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus (kWh)
Q <sub>lämmitys, lkv</sub>	lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh)
Q <sub>lämmitys,tilat</sub>	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve (kWh)
Q <sub>lämmitys,tilat,netto</sub>	tilojen lämmitysenergian nettotarve (kWh)
Q <sub>lämpökuorma</sub>	rakennuksen lämpökuorma (kWh)
Q <sub>norm</sub>	rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus (kWh)
Q <sub>rakosa</sub>	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)
Q <sub>sis.lämpö</sub>	lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä (kWh)



$Q_{säh}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma (kWh)
$Q_{tila}$	tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia (kWh)
$q_{v,korvausilma}$	korvausilmavirta ( $m^3/s$ )
$q_{v,tulo}$	tuloilmavirta ( $m^3/s$ )
$q_{v,poisto}$	poistoilmavirta ( $m^3/s$ )
$q_{v,vuotoilma}$	vuotoilmavirta ( $m^3/s$ )
$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)
<b>SFP</b>	puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho ( $kW/(m^3/s)$ )
$S_N$ vpkunta	normaalivuoden tai -kuukauden (1981...2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S_{toteutunut}$ vpkunta	kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_{maa}$ , kuukausi	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_{maa}$ , vuosi	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila
$T_s$	sisäilman lämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_{sp}$	sisäänpuhalluslämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_u$	ulkoilman lämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_u$ , vuosi	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila
$t_d$	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)
$t_v$	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)
$U_i$	rakennusosan lämmönläpäisykerroin ( $W/(m^2K)$ )
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus ( $m^3$ )

$W$	sähköenergia (kWh)
$W_{\text{ilmanvaihto}}$	ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh)
$W_{\text{iv, muu}}$	muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkökulutus (kWh)
$W_{\text{lkv, pumppu}}$	lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus (kWh)
$W_{\text{lämmitys}}$	lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh)
$W_{\text{tilat}}$	lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus (kWh)
$W_{\text{tuotto, apu,}}$	lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus (kWh)
$x$	kerroin, joka riippuu rakennuksen kerrosten lukumäärästä
$\gamma$	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön
$\Delta t$	ajanjakson pituus (h)
$\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero
$\Delta T_{\text{maa, vuosi}}$	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Delta T_{\text{puhallin}}$	lämpötilan nousu puhaltimessa ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\eta_{\text{a, IV-kone}}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde
$\eta_{\text{lkv, siirto}}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde
$\eta_{\text{lämmitys, tilat}}$	lämmönjakelujärjestelmän hyötysuhde
$\eta_{\text{tuotto}}$	lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä
$\rho_i$	ilman tiheys ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ )
$\rho_v$	veden tiheys ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )
$\varphi_{\text{lkv, kiertohäviö, omin}}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho ( $\text{W/m}$ )
$T$	rakennuksen aikavakio (h)

# 1 JOHDANTO

Tietoisuus energiantuotannon ja -käytön ympäristövaikutuksista on viime aikoina lisääntynyt voimakkaasti. Tämän seurauksena energia-asioiden parissa työskentelevät toimijat ovat ryhtyneet asettamaan erilaisia tavoitteita energiankulutuksen vähentämiselle ja uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämiselle. Näillä pyritään kasvihuonekaasupäästöjen, erityisesti hiilidioksidin, vähentämiseen sekä luonnonvarojen säästöön. Energiankäytön vähentämistavoitteiden taustalla on ympäristönsuojelun lisäksi myös energian jatkuva hinnannousu.

Rakennusten energiankulutuksella on suuri merkitys: Vuonna 2016 rakennusten lämmityksen osuus energian loppukäytöstä oli 26% (1). Lisäksi rakennusten ja rakentamisen energiankulutus aiheuttaa noin kolmanneksen Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (2). Kiinteistöjen energiahallinta on siis eräs merkittävä keino päästöjen vähentämiseksi. Erityisesti kaupungeilla ja kunnilla on huomattava mahdollisuus vaikuttaa kiinteistöjen energia-asioihin. Monet kaupungit ja kunnat ovatkin jo asettaneet tavoitteita ja ryhtyneet toimiin rakennusten energiankäytön vähentämiseksi ja energiatehokkuuden parantamiseksi.

Opinnäytetyön toimeksiantajana on Iisalmen kaupungin tekninen osasto. Työn tavoitteena on selvittää rakennuksen tavoitteellinen energiankulutus, jolla tarkoitetaan kiinteistöstrategian mukaisten sisäilmaolosuhteiden vaatimaa energiankulutusta. Lisäksi työn tavoitteena on verrata tavoiteltua energiankulutusta rakennuksen toteutuneisiin kulutuksiin sekä pohtia keinoja, joilla rakennusten energiankulutusta voitaisiin vähentää.

Rakennuksen tavoitteellisen energiankulutuksen selvittämistä varten työssä tehdään Excel-laskuri, jolla voidaan arvioida erilaisten rakennusten energiankulutusta. Raportissa kuvataan laskurissa käytetty laskentamenetelmä sekä esittää erään tutkimuskohteen energialaskennat. Esimerkkikohteen laskennan avulla nähdään, miten laskuri käytännössä toimii.

Työn tutkimuskohteina on Iisalmen kaupungin koulu-, päiväkotijärjestöt ja toimistokiinteistöjä. Työssä tarkastelu painottuu koulurakennusten energiankulutukseen.

Kaupunki on tarkastellut aiemmin tutkimuskohteina olevien kiinteistöjen toteutuneita energiankulutuksia. Lisäksi osalle kiinteistöistä on laadittu energiatodistus. Tässä opinnäytetyössä tarkoituksena on verrata kyseisiä energiankulutuksia lasurin avulla saataviin tavoiteltaviin energiankulutuslukemiin. Tarkoituksena on myös selvittää, millaisilla energiansäästökeinoilla kohteet saavuttaisivat nämä tavoiteltavat energiankulutuslukemat. Tätä varten raportissa perehdytään rakennusten energiankulutukseen vaikuttaviin tekijöihin sekä tarkastellaan eri tekijöiden, kuten sisälämpötilan tai käyttöaikojen muutoksien vaikutuksia energiankulutukseen.

## **2 RAKENNUKSEN ENERGIAANTARVE**

Rakennuksen energiantarve muodostuu lämpö- ja sähköenergiantarpeesta. Lämmitysenergiaa rakennuksessa kuluu tilojen, ilmanvaihdon tuloilman sekä käyttöveden lämmittämiseen. Sähköenergiaa rakennuksessa kuluttavat valaistus, kuluttajalaitteet ja LVI-tekniset järjestelmät. Lisäksi rakennuksia jäähdytetään yhä useammin koneellisesti, mikä myös lisää rakennuksen energiankulutusta. (3.)

Energiankulutuksen jakautuminen vaihtelee rakennustyypeittäin johtuen rakennusten erilaisista käyttötarkoituksista ja käyttäjämääristä. Tarkasteltaessa yksittäisen rakennuksen energiankulutusta tulisikin sitä verrata oman käyttötarkoitukseluokan rakennuksiin. Tarkasteltaessa rakennuksia käyttötarkoitukseluokittain on myös helpompi antaa yleisiä ohjeita energiansäästämiseksi.

Rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavat lukuisat tekijät, kuten rakennuksen sijainti, rakennusosien ominaisuudet, lämpökuormat ja niiden hyödyntämisaste, tavoitellut sisäilmasto-olosuhteet sekä taloteknisten järjestelmien toiminta. Lisäksi kiinteistön käyttäjien kulutustottumuksilla on oleellinen vaikutus rakennuksen energiankulutukseen. Seuraavassa on esitetty tärkeimpiä rakennuksen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä.

### **2.1 Sisäilmasto**

Sisäilmastolla tarkoitetaan rakennuksen sisäilman laatua ja lämpöolosuhteita. Sisäilmastolla on merkittävä vaikutus ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen. Sopivien sisäilmaolosuhteiden tuottamiseen myös käytetään suurin osa rakennuksessa kuluvasta energiasta. Tästä johtuen on tärkeää valita rakennuksen sisäilmastolle tavoitteet ja myös varmistaa niiden toteutuminen. (4, s. 37.)

Sisäilmaston tavoitearvoja on annettu Sisäilmayhdistyksen julkaisussa Sisäilmastoluokitus 2008 (5). Tavoitearvot koskevat mm. lämpötilaa, ilman liikenopeutta, hiilidioksidi- ja radonpitoisuuksia sekä valaistus- ja ääniolosuhteita. Luokituksessa sisäilmasto jaetaan kolmeen laatuluokkaan:

- S1 – yksilöllinen sisäilmasto
- S2 – hyvä sisäilmasto
- S3 – tyydyttävä sisäilmasto

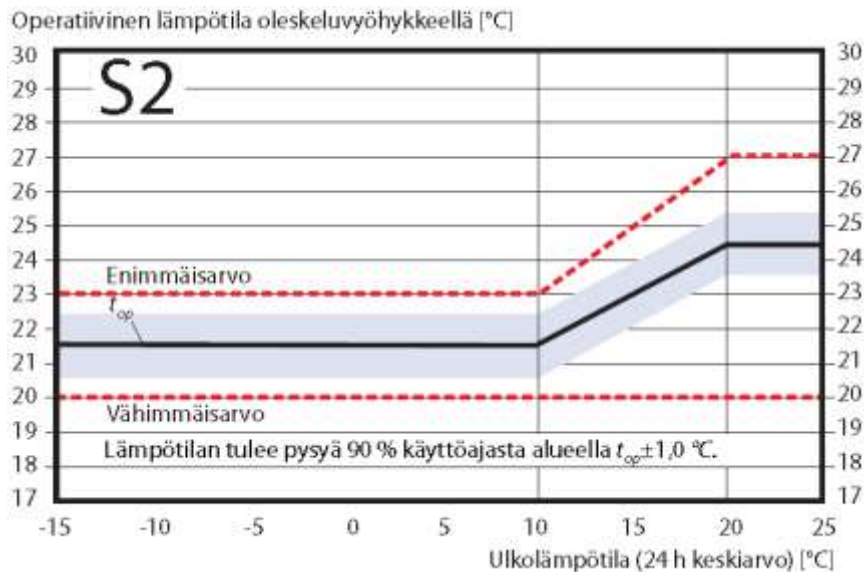
S1 on luokista paras. Siinä tilan käyttäjä pystyy säätämään sisäilmastotekijöitä, kuten lämpöoloja, tilakohtaisesti. S1-luokassa sisäilman laatu on erittäin hyvä, lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai tilojen yllämpenemistä esiinny. Sisäilmastoluokassa S2 sisäilman laatu sekä lämpöolot ovat hyvät. Tilojen yllämpeneminen on mahdollista kesäisin, mutta vetoa ei yleensä esiinny. Sisäilmastoluokka S3 puolestaan vastaa rakentamismääräysten vähimmäistasoa. (5, s. 4.)

Sisäilmaston eri tekijöiden tavoitearvot voidaan valita eri laatuluokista. Tarvittaessa jonkin sisäilmastotekijän arvo voidaan myös määritellä tapauskohtaisesti. (5, s. 4.) Taulukossa 1 on esitetty joitakin sisäilmaston tavoitearvoja laatuluokittain.

*TAULUKKO 1. Sisäilmaston tavoitearvot (5, s. 5–6)*

SISÄILMASTON TAVOITEARVOT				
	yksikkö	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila, talvi	°C	20-23	20-23	18-25
Operatiivinen lämpötila, kesä	°C	20-26	20-27	18-30
Ilman nopeus, 21 °C	m/s	< 0,14	< 0,17	< 0,20 (talvi)
Ilman nopeus, 23 °C	m/s	< 0,16	< 0,20	-
Ilman nopeus, 25 °C	m/s	< 0,20	< 0,25	< 0,30 (kesä)
Hiilidioksidipitoisuus	ppm	< 750	< 900	< 1200
Radonpitoisuus	Bq/m <sup>3</sup>	< 100	< 100	< 200
Olosuhteiden pysyvyys -toimi- ja opetustilat	% käyttöajasta	95	90	-
-asunnot		90	80	-

Kuvassa 1 on vielä esitetty operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokan S2 osalta diagrammina. Kuvassa 1 tummennettu alue kuvaa kyseisen sisäilmastoluokan tavoitearvoaluetta eli tavoitelämpötilaa ja siitä sallittua poikkeamaa.



KUVA 1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot sisäilmastoluokassa S2 (5, s. 6)

Rakennuksen sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttavat monet tekijät, kuten lämmitys- ja ilmanvaihtoratkaisut, rakennustekniikka, rakennusmateriaalit sekä rakennuksen käyttö ja kunnossapito. Hyvä sisäilmasto edellyttää kyseisien tekijöiden huomioonottamisen rakennuksen suunnittelun, rakentamisen ja käytön kaikissa vaiheissa. (5, s. 2.)

## 2.2 Lämmitysjärjestelmä

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän toiminta vaikuttaa merkittävästi rakennuksen sisäilmaston laatuun ja energiatalouteen. Lämmityksen tavoitteena on ylläpitää terveelliset ja viihtyisät lämpöolot rakennuksessa. Sopivien lämpöolosuhteiden tuottamiseen käytetään suurin osa rakennuksessa kuluvasta lämmitysenergiasta. Huoneiden ja ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen lisäksi lämmitysjärjestelmä tuottaa rakennukseen lämmintä käyttövettä. (6, s. 1–3.)

Sisälämpötila on keskeinen rakennuksen energiankulutukseen vaikuttava tekijä. Lämmitysenergiaa voidaan säästää noin 5 % jokaista alennettua astetta kohden. Lämpötilalla on myös lukuisia muita vaikutuksia ja se onkin ehdottomasti tärkein sisäilmastotekijä. Esimerkiksi työpaikoilla oikea lämpötila näkyy työtehokkuuden paranemisena. Oikea lämpötila myös parantaa ilman laatua pienentämällä rakennusmateriaalien päästöjä sekä vähentää ilman kuivuuden tunnetta. Sisälämpötila

tulisikin valita mahdollisimman energiataloudellisesti, viihtyisyydestä tinkimättä. (6, s. 7, 410.)

Energiansäästöä saadaan myös lämmityksen tarpeenmukaisella käytöllä. Lisäksi lämmitysjärjestelmän energiankulutusta voidaan vähentää hyödyntämällä lämpökuormia, joita rakennukseen tulee etenkin valaistuksesta, laitteista, ihmisistä ja ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta. Lämpökuormia voidaan hyödyntää vain sillä edellytyksellä, että lämmityksen säätöjärjestelmä vähentää lämmön tuottoa vastaavalla määrällä. (6, s. 411–413.)

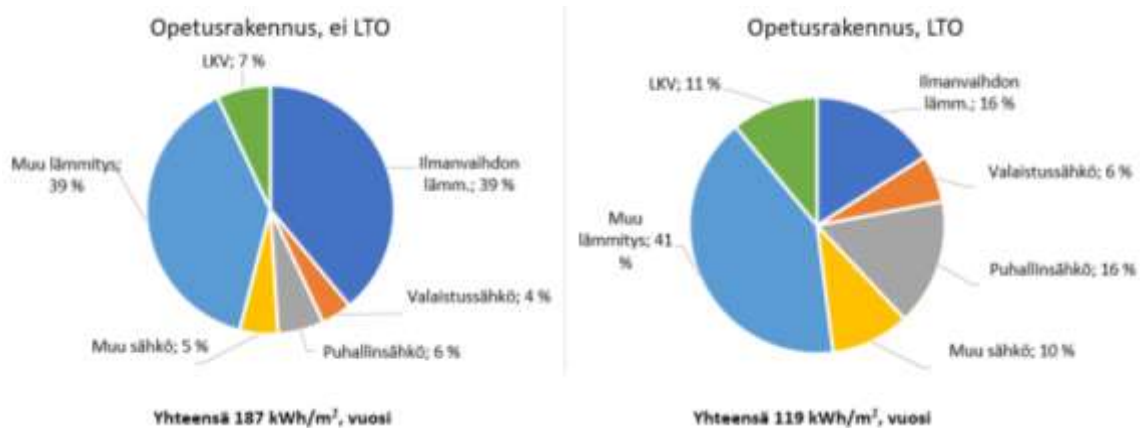
### **2.3 Ilmanvaihtojärjestelmä**

Ilmanvaihdon tavoitteena on ylläpitää terveellistä ja viihtyisää ilman laatua. Hyvän sisäilman laadun ylläpitämiseksi ilmanvaihto kuitenkin käyttää merkittävän osan rakennuksen tarvitsemasta lämmitys- ja sähköenergiasta. Ilmanvaihdon osuus rakennuksen energiankulutuksesta vaihtelee rakennustyypeittäin. Ilmanvaihtojärjestelmän lämpö- ja sähköenergiantarve riippuvat ilmavirtojen suuruudesta sekä järjestelmän suunnittelusta ja käytöstä. (7, s. 5–7.)

Suomessa on vähimmäisulkoilmavirran arvoksi valittu  $(6 \text{ dm}^3/\text{s}) / \text{hlö}$ . Tällä ilmavirralla taataan tiloihin terveellinen sisäilman laatu. Ilmanvaihdon määrällä on terveysvaikutusten lisäksi myös vaikutusta ihmisten tuottavuuteen. Riittävä ilmanvaihto vaikuttaa positiivisesti esimerkiksi työn tehokkuuteen toimistotyössä ja opimistuloksiin kouluissa. (7, s. 5–7.)

Ilmanvaihdon lämmitysenergian käyttöä voidaan merkittävästi pienentää poistoilman lämmöntalteenoton avulla. Kuva 2 havainnollistaa ilmanvaihdon lämmöntalteenoton merkitystä nettoenergiatarpeen pienentäjänä opetusrakennuksessa. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutusta voidaan puolestaan vähentää oikeanlaisella järjestelmäsuunnittelulla ja puhaltimien valinnalla. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteholle asetetaan vaatimuksia, mikä oleellisesti vaikuttaa ilmanvaihdon sähkönkäytön tehokkuuteen. (7, s. 7–8.)





KUVA 2. Tyypillisen opetusrakennuksen nettoenergian tarpeen jakauma ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla ja ilman (7, s. 8)

Energiansäästöä saadaan myös ilmanvaihdon tarpeenmukaisella käytöllä. Ilmavirtaa voidaan ohjata muun muassa hiilidioksidipitoisuuden, lämpötilan ja/tai läsnäolon perusteella. Etenkin opetusrakennuksissa ja päiväkodeissa ilmavirtaa tulisi ohjata tarpeenmukaisesti, sillä kyseisissä rakennuksissa tilojen käyttöasteet vaihtelevat paljon: joskus tilat ovat tyhjillään tai vain osa mitoitettusta henkilömäärästä on paikalla. (4, s. 126, 334.)

## 2.4 Kiinteistön käyttäjien kulutustottumukset

Kiinteistön käyttäjien kulutustottumuksilla on merkittävä vaikutus kiinteistön energiankulutukseen. Esimerkiksi toimistorakennuksissa valaistuksen ja atk-laitteiden osuus on yleensä yli puolet sähkönkulutuksesta. Tätä osuutta voidaan pienentää huomattavasti työntekijöiden käyttötottumuksien muuttamisella. Esimerkiksi toimiston työpisteiden sähkönkulutusta voidaan vähentää noin 50 % laitteiden tarpeenmukaisella käytöllä. (8.) Kiinteistön käyttäjien energiatietoisuuden lisääminen on siis tärkeää.

Kiinteistön käyttäjät tarvitsevat tietoa kiinteistön energiankulutuksen nykytilanteesta sekä mahdollisuuksistaan vaikuttaa omilla käytännön toimillaan energiankulutuksen pienentämiseen. Tiedon jakamisen lisäksi tärkeää on ihmisten kannustus ja motivointi. Tiedotus- ja koulutustilaisuuksilla pyritään saamaan ihmiset tietoisiksi energiansäästömahdollisuuksista ja tätä kautta vaikuttamaan heidän

käyttö- ja kulutustottumuksiin. Tärkeää on, että tuloksia seurataan ja saavutetuista säästöistä myös kerrotaan kiinteistön käyttäjille.

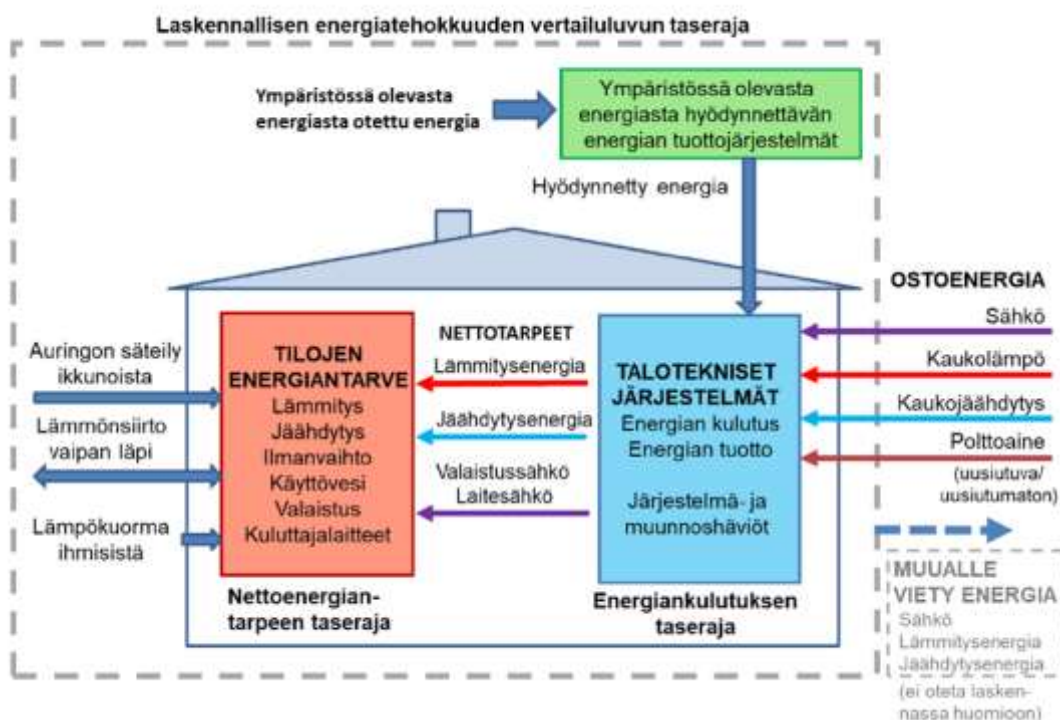
Kiinteistön käyttäjät voivat vaikuttaa energiankulutukseen monella tavalla. Yleisimpiä energiansäästökeinoja ovat valaistuksen ja laitteiden tarpeenmukainen käyttö sekä veden hukkakulutuksen vähentäminen. On myös huomioitava, että kiinteistöä voivat käyttää muutkin oman henkilöstön lisäksi. Kiinteistöissä tulee tästä johtuen kertoa sekä päivä- että iltakäyttäjille energiatehokkaista toimintatavoista. Heille tulee kertoa muun muassa seuraavista energiatehokkuuteen liittyvistä asioista:

- valaistuksen käyttöajat ja ohjeet tilojen käyttäjille
- tilojen oikeat sisälämpötilat ja toimintaohjeet ongelmatilanteessa
- ilmanvaihdon käyttöajat ja toimintaohjeet ongelmatilanteessa
- suositukset veden käytöstä. (9.)

### 3 RAKENNUKSEN LASKENNALLINEN ENERGIANKULUTUS

Tässä luvussa esitellään rakennuksen tavoitteellisen energiankulutuksen laskentamenetelmä, jota käytettiin opinnäytetyötä varten luodussa Excel-laskurissa. Laskentamenetelmä perustuu ympäristöministeriön julkaisemaan ohjeeseen Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta (10). Kyseessä on kuukausitason laskentamenetelmä, joka soveltuu jäähdyttämättömien rakennusten energiankulutuksen laskentaan.

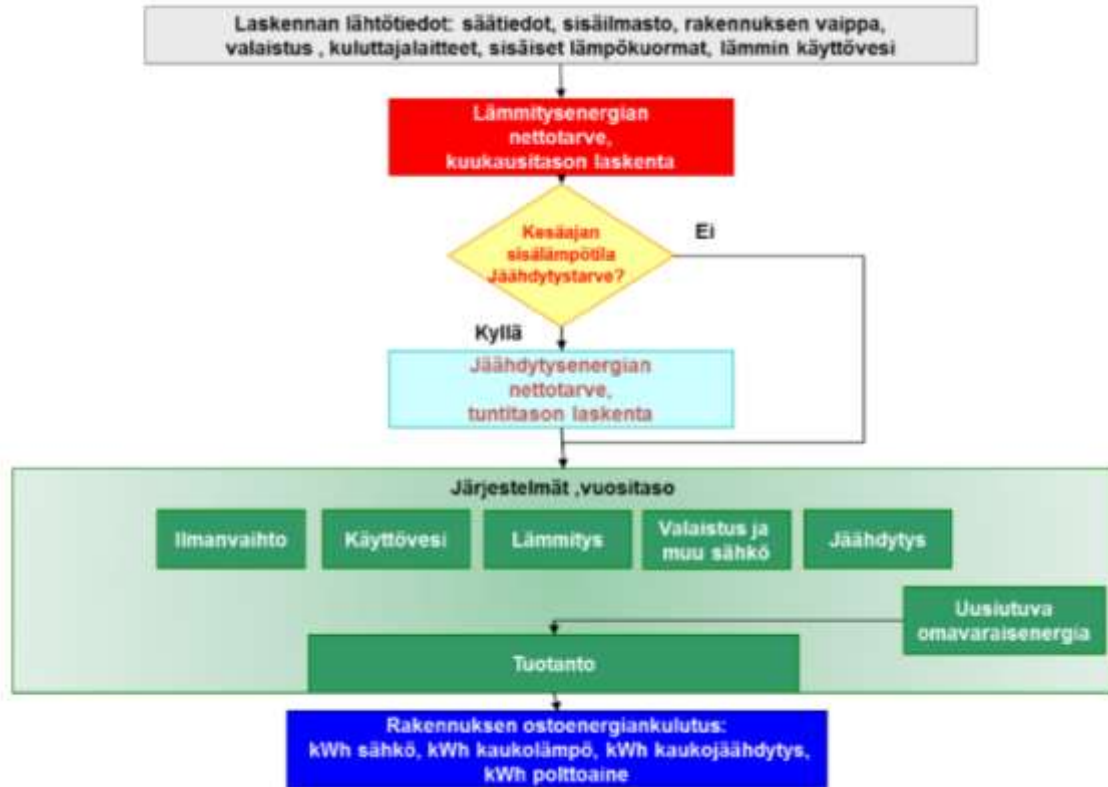
Laskurin avulla voidaan arvioida rakennuksen sisäilmasto-olosuhteiden ylläpitämiseksi tarvittavaa energiamäärää sekä rakennuksen ostoenergian kulutusta. Rakennuksen ostoenergiankulutuksella tarkoitetaan lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmien sekä valaistuksen ja muiden sähkölaitteiden energiankulutusta eriteltynä sähkö- ja lämpöenergian osalta (kuva 3).



KUVA 3. Laskentamenetelmässä käytettävät energiankulutuksen taserajat (10, s. 14)

### 3.1 Laskennan vaiheet

Rakennuksen ostoenergiankulutuksen laskennan vaiheet on esitetty kuvan 4 prosessikaaviossa.



KUVA 4. Rakennuksen energiankulutuksen laskennan vaiheet (10, s. 14)

Rakennuksen energiankulutuksen laskenta aloitetaan määrittämällä rakennuksen lämmitysenergian nettotarve. Lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan energiaa, joka tuodaan lämmitysjärjestelmällä tiloihin, tuloilmaan ja käyttöveteen. Se lasketaan vähentämällä tilojen, ilmanvaihdon ja lkv:n lämmitysenergian tarpeesta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia, sisäisten lämpökuormien energia sekä poistoilmasta talteen otettu energia. (10, s. 14.)

Lämmitysenergian nettotarpeesta lasketaan rakennuksen lämmitysjärjestelmän energiankulutus. Laskennassa otetaan huomioon lämmitysenergian tuoton hyötysuhde, energian varastoinnin, jakelun ja luovutuksen lämpöhäviöt sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus. Lisäksi huomioidaan tuotettu uusiutuva omavaraenergia, jonka hyödyntäminen pienentää ostoenergian kulutusta. (10, s. 14.)

Taloteknisten järjestelmien energiankulutuksen ollessa tiedossa voidaan laskea rakennuksen ostoenergian kulutus eli rakennukseen hankittava sähkö- ja lämpöenergia. Rakennukseen sähköverkosta ostettava energia saadaan summaamalla valaistus- ja laitesähkö sekä ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmien sähköenergiankulutus yhteen. Rakennukseen hankittava lämmitysenergia puolestaan vastaa rakennuksen lämmitysjärjestelmän lämpöenergian tarvetta.

### 3.2 Laskennan lähtötiedot

Laskelmien lähtötietoina tarvitaan muun muassa säätiedot, rakenteet ja rakennusosien pinta-alat, tavoitellut sisäilmaolosuhteet, rakennuksen käyttötiedot sekä perustiedot rakennuksen ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmästä. Rakennuksen rakenteiden ja taloteknisten järjestelmien tiedot saadaan yleensä rakennuksen suunnitelmista. Sisäilmaolosuhdetavoitteet puolestaan määritellään kiinteistöstrategiassa.

Laskennan lähtötietoina voidaan käyttää myös ympäristöministeriön rakennuksen energiankulutuksen laskentaohjeessa annettuja ohjearvoja, mikäli todellisia tietoja ei ole käytettävissä. Lisäksi laskennassa on mahdollista käyttää rakennuksen käyttötarkoitukseluokan mukaisia arvoja, jos tarkempia tietoja ei ole saatavissa. Käyttötarkoitukseluokittaisia vakioituja arvoja, esimerkiksi rakennuksen käyttöajalle, on esitetty uuden rakennuksen energiatehokkuudesta annetussa ympäristöministeriön asetuksessa (jäljempänä: energiatehokkuusasetus) (11).

### 3.3 Rakennuksen energiankulutus

Rakennuksen energiankulutus eritellään lämpö- ja sähköenergian osalta. Rakennuksen lämpöenergian kulutus muodostuu tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksen lämpöenergian tarpeesta, ja se lasketaan lämmöntuottojärjestelmittäin kaavalla 1. (10, s. 48.)

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}} \quad \text{KAAVA 1}$$

$Q_{\text{lämmitys}}$  = lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus (kWh/a)

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$  = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve

$Q_{\text{lämmitys, iv}}$  = ilmanvaihdon lämmityksen lämpöenergian tarve

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

$Q_{\text{muu tuotto}}$  = muilla mahdollisilla tuottojärjestelmillä tuotettu energia

$\eta_{\text{tuotto}}$  = lämmitysenergian tuoton hyötysuhde tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmityksessä

Rakennuksen sähköenergiankulutus koostuu valaistuksen ja sähkölaitteiden sekä lämmitys-, ilmanvaihto- ja jäähdytysjärjestelmän sähkönkäytöstä. Rakennuksen sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 2.

$$W_{\text{sähkö}} = W_{\text{valaistus}} + W_{\text{laitteet}} + W_{\text{lämmitys}} + W_{\text{ilmanvaihto}} + W_{\text{jäähdytys}} \quad \text{KAAVA 2}$$

Seuraavassa on esitetty rakennuksen energiankulutuksen laskennan pääperiaatteet. Tarkemmat laskennat on esitetty luvussa 5, jossa käydään läpi erään kohdekiinteistön energialaskenta.

### 3.4 Tilojen lämmitysenergian tarve

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 3 (10, s. 17). Se muodostuu johtumislämpöhäviöistä rakennusvaipan läpi, vuotoilman, korvausilman ja tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergiantarpeesta.

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv,tuloilma}} + Q_{\text{iv,korvausilma}} \quad \text{KAAVA 3}$$

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan vähentämällä tilojen lämmitysenergian tarpeesta lämpökuormat, jotka hyödynnetään rakennuksen lämmityksessä. Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 4 (10, s. 17).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad \text{KAAVA 4}$$

$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$  = tilojen lämmitysenergian nettotarve (kWh)

$Q_{\text{tila}}$  = tilojen lämmitysenergian tarve

$Q_{\text{sis.lämpö}}$  = lämpökuormat, jotka hyödynnetään lämmityksessä

Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarvetta laskettaessa tulee ottaa huomioon lämmönjaon ja -luovutuksen häviöt. Tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lasketaan lämmönjakojärjestelmittäin kaavalla 5 (10, s. 40).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}}$$

KAAVA 5

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$  = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmönjakelujärjestelmällä (kWh/a)

$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$  = laskettavan lämmönjakelujärjestelmän hyötysuhde

### 3.5 Ilmanvaihto

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus koostuu lämmitysenergian ja sähköenergian kulutuksesta, jotka lasketaan erikseen.

#### 3.5.1 Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutus

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeella tarkoitetaan energiamäärää, joka tarvitaan ilman lämmittämiseen lämmöntalteenoton jälkeisestä lämpötilasta sisänpuhalluslämpötilaan. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarpeen laskennassa huomioidaan myös mahdollinen ilman lämmittäminen ennen lämmöntalteenottoa jäätyamisen estämiseksi. (10, s. 4, 23.)

Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan erikseen rakennuksen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle kaavalla 6 (10, s. 23).

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left( (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000$$

KAAVA 6

$Q_{iv}$  = ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve (kWh)

$t_d$  = ilmanvaihtokoneen vuorokautinen käyntiaikasuhde (h/24h)

$t_v$  = ilmanvaihtokoneen viikoittainen käyntiaikasuhde (vrk/7 vrk)

$\rho_i$  = ilman tiheys (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

$c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti (1000 J/(kg K))

$q_{v,tulo}$  = tuloilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$T_{sp}$  = sisänpuhalluslämpötila (°C)

$\Delta T_{puhallin}$  = lämpötilan nousu puhaltimessa (°C)

$T_{lto}$  = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)

$\Delta t$  = ajanjakson pituus (h)

Kaavassa 6 tarvittava lämmöntalteenoton jälkeinen ilman lämpötila lasketaan kaavalla 7 (10, s. 23).

$$T_{LTO} = T_u + \frac{\eta_{a,IV-kone} \cdot q_{v,poisto} \cdot (T_s - T_u)}{q_{v,tulo}} \quad \text{KAAVA 7}$$

$q_{v,poisto}$  = poistoilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\eta_{a,IV-kone}$  = ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde

$T_u$  = ulkoilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  = sisäilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään rakennuksen asiakirjojen mukaisia arvoja. Vuosihyötysuhdetta voidaan käyttää laskennassa kaikkina kuukausina. Mikäli ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa, tulee kaavassa 6 käyttää lämmöntalteenottolaitteen jälkeisenä lämpötilana ulkoilman lämpötilaa.

### 3.5.2 Ilmanvaihdon sähköenergian kulutus

Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus koostuu puhallinsähköstä sekä mahdollisten apulaitteiden, kuten pumppujen ja taajuusmuuttajien, sähkönkäytöstä. Ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus lasketaan kaavalla 8 (10, s. 57). Sähköenergiankulutus lasketaan erikseen jokaiselle rakennuksen ilmanvaihtokoneelle sekä huippuimurille.

$$W_{ilmanvaihto} = \Sigma \text{SFP } q_v \Delta t + W_{iv,mutt} \quad \text{KAAVA 8}$$

$W_{ilmanvaihto}$  = ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh)

$\text{SFP}$  = puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho ( $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ )

$q_v$  = puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\Delta t$  = puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen käyttöaika laskentajaksolla (h)

$W_{iv,mutt}$  = muu ilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus (kWh)



Muu ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus tarkoittaa muiden ilmanvaihtojärjestelmän laitteiden kuin puhaltimien ja niiden tehonsäätölaitteiden sähkönkulutusta. Se voidaan laskea kertomalla laitteiden sähköteho niiden käyttöajalla. (10, s. 59.)

### 3.6 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian kokonaistarve lasketaan lkv:n lämpöenergian nettotarpeesta huomioimalla veden siirron hyötysuhde sekä varastoinnin ja kiertojohdon lämpöhäviöt (kaava 9) (10, s. 43).

$$Q_{\text{lämmitys, lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv, netto}}}{\eta_{\text{lkv, siirto}}} + Q_{\text{lkv, varastointi}} + Q_{\text{lkv, kierto}} \quad \text{KAAVA 9}$$

$Q_{\text{lämmitys, lkv}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh/a)

$Q_{\text{lkv, netto}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve (kWh/a)

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$  = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde, -

$Q_{\text{lkv, varastointi}}$  = lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö (kWh/a)

$Q_{\text{lkv, kierto}}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö (kWh/a)

Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde kattaa ainoastaan lkv:n jakojohdon häviöt. Kiertojohdon häviöt lasketaan erikseen. Siirron hyötysuhteena voidaan käyttää taulukossa 2 esitettyä rakennustyyppikohtaista hyötysuhdetta, mikäli tarkempaa tietoa ei ole.

TAULUKKO 2. Lkv:n siirron vuosihyötysuhteen rakennustyyppikohtaisia arvoja (10, s. 44)

Rakennustyyppi	Kierto	$\eta_{lkv, \text{siirto}}$ Ei kiertoa			
		eris- tämätön	suoja-putkessa	eristetty, perustaso <sup>1)</sup>	eristetty, parempi <sup>2)</sup>
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutilat	0,96	0,75	0,85	0,89	0,92
Asuinkerrostalo	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Toimistorakennus	0,88	0,69	0,78	0,82	0,85
Liikerakennus	0,87	0,68	0,77	0,81	0,84
Majoitusliikerakennus	0,97	0,76	0,86	0,90	0,94
Opetusrakennus ja päiväkot	0,89	0,70	0,79	0,83	0,86
Liikuntahalli	0,98	0,77	0,87	0,91	0,95
Sairaala	0,94	0,74	0,84	0,88	0,91

<sup>1)</sup> Eristyksen perustaso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 0,5 D, jossa D on putken halkaisija.

<sup>2)</sup> Eristyksen parempi taso tarkoittaa vähintään eristyspaksuutta 1,5 D, jossa D on putken halkaisija.

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve voidaan laskea kaavalla 10, jos lämpimän käyttöveden kulutus on tiedossa. Mikäli lkv:n kulutusta ei ole erikseen mitattu, voidaan olettaa sen määrän olevan asuinrakennuksissa 40 % ja muissa rakennuksissa 30 % veden kokonaiskulutuksesta (12, s. 3).

$$Q_{lkv, netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad \text{KAAVA 10}$$

$Q_{lkv, netto}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve (kWh)

$\rho_v$  = veden tiheys (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$c_{pv}$  = veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/(kg K))

$V_{lkv}$  = lämpimän käyttöveden kulutus (m<sup>3</sup>)

$T_{lkv}$  = lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)

$T_{kv}$  = kylmän käyttöveden lämpötila (°C)

### 3.6.1 Lämpimän käyttöveden kierto

Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö lasketaan kaavalla 11 (10, s. 45).

$$Q_{lkv, kierto} = (\varphi_{lkv, kiertohäviö, omin} L_{lkv} + \varphi_{lkv, lämmitys, omin} n_{lämmityslaite}) \frac{t_{lkv, pumppu} 365}{1000} \quad \text{KAAVA 11}$$

$Q_{lkv,kierto}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö (kWh/a)
$\varphi_{lkv,kiertohäviö,omin}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho (W/m)
$L_{lkv}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus (m)
$\varphi_{lkv,lämmitys,omin}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho (W/kpl)
$n_{lämmityslaitte}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä (kpl)
$t_{lkv,pumppu}$	= lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika (h/vrk)

Lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 12 (10, s. 46).

$$W_{lkv,pumppu} = P_{lkv,pumppu} t_{lkv,pumppu} \frac{365}{1000} \quad \text{KAAVA 12}$$

$W_{lkv,pumppu}$	= lkv:n kiertopumpun sähköenergian kulutus (kWh/a)
$P_{lkv,pumppu}$	= lkv:n kiertojohdon pumpun sähkömoottorin ottoteho (W)
$t_{lkv,pumppu}$	= lkv:n kiertojohdon pumpun käyttöaika h/vrk

Pumpun käyttöaikana käytetään arvoa 24 h/vrk (10, s. 46).

### 3.6.2 Lämpimän käyttöveden varastointi

Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviötä voidaan arvioida taulukon 3 avulla. Taulukosta saadaan käyttövesivaraajan lämpöhäviö varaajan tilavuuden ja eristepaksuuden perusteella.

TAULUKKO 3. Lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuinen häviö (10, s. 45)

Varaajan tilavuus, l	Varaajan lämpöhäviö, $Q_{kv, varastointi}$ , kWh/a	
	40 mm eriste	100 mm eriste
50	440	220
100	640	320
150	830	420
200	1000	500
300	1300	650
500	1700	850
1000	2100	1100
2000	3000	1500
3000	4000	2000

### 3.7 Valaistus ja kuluttajalaitteet

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutus voidaan laskea kertomalla valaisimien ja laitteiden sähkötehot käyttötunneilla. Jos sähkötehot ja/tai käyttötunnit eivät ole tiedossa, voidaan valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergiankulutus laskea kaavaa 13 ja rakennustyyppikohtaisia vakioituja arvoja käyttäen.

$$Q = kPA_{\text{netto}} \frac{t_d}{24} \frac{t_w}{7} \frac{8760}{1000} \quad \text{KAAVA 13}$$

$Q$  = vuotuinen lämpökuorma (kWh)

$k$  = keskimääräinen valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttöaste sekä ihmisten läsnäolo rakennuksen käyttöajan aikana

$P$  = sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti (W/m<sup>2</sup>)

$A_{\text{netto}}$  = lämmitetty nettoala (m<sup>2</sup>)

$t_d$  = rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa (h)

$t_w$  = rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa (d)

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähköenergian kulutus on yhtä suuri kuin niiden lämpökuorma. Rakennustyyppikohtaisia arvoja rakennusten käyttöajalle sekä valaistuksen ja kuluttajalaitteiden käyttöasteelle ja sisäiselle lämpökuormalle on esitetty esimerkiksi energiatehokkuusasetuksessa.

### 3.8 Lämpökuormat

Rakennukseen tulee lämpökuormia muun muassa valaistuksesta, laitteista, ihmisistä ja ikkunoista sisään tulevasta auringon säteilyenergiasta. Myös osa lämpimän käyttöveden kiertojohdon ja varastoinnin lämpöhäviöistä tulee lämpökuormaksi rakennukseen. (10, s. 36.) Lämpökuormat voidaan osittain hyödyntää rakennuksen lämmityksessä. Tämä kuitenkin edellyttää oikein toimivaa lämmityksen säätöjärjestelmää. Säätolaitteiden tulee siis vähentää rakennuksen lämmön tuottoa silloin, kun lämpökuormia on hyödynnettävissä. (6, s. 412.)

Rakennuksen lämpökuorma lasketaan kaavalla 14 (10, s. 36).

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}}$$

KAAVA 14

$Q_{\text{lämpökuorma}}$	= rakennuksen lämpökuorma
$Q_{\text{henk}}$	= henkilöiden luovuttama lämpöenergia
$Q_{\text{säh}}$	= valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma
$Q_{\text{aur}}$	= ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia
$Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}}$	= lkv:n kiertojohdon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus
$Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}}$	= lkv:n varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus

Valaistuksen ja laitteiden sähköenergian kulutus tulee kokonaisuudessaan lämpökuormaksi rakennukseen (10, s. 32). Jos lämpimän käyttöveden kiertojohto tai varastointi sijaitsee rakennuksen vaipan sisäpuolella, on lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lämpöhäviöistä lämpökuormaksi tuleva osuus 50 prosenttia (11, s. 10). Henkilöiden luovuttama lämpöenergia voidaan laskea kaavalla 13.

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 15 (10, s. 32).

$$Q_{\text{aur}} = \sum G_{\text{säteily,pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikk}} g$$

KAAVA 15

$G_{\text{säteily,pystypinta}}$  = pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti (kWh/(m<sup>2</sup> kk))

$F_{\text{läpäisy}}$  = säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

$A_{\text{ikk}}$  = ikkuna-aukon pinta-ala kehys- ja karmirakenteineen (m<sup>2</sup>)

$g$  = ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Lämpökuormien energia, joka voidaan hyödyntää lämmityksessä, saadaan kaavalla 16.

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad \text{KAAVA 16}$$

$\eta_{\text{lämpö}}$  = lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

Lämpökuormien hyödyntämisaste riippuu lämpökuorman ja lämpöhäviön suhteesta sekä rakennuksen aikavakiosta. Lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste lasketaan kaavoilla 17–20 (10, s. 36–37.)

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \quad \text{KAAVA 17}$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} \quad \text{KAAVA 18}$$

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}} \quad \text{KAAVA 19}$$

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}} \quad \text{KAAVA 20}$$

$$H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u) \Delta t} 1000 \quad \text{KAAVA 21}$$

$\gamma$  = lämpökuorman suhde lämpöhäviöön

$a$  = numeerinen parametri

$\tau$  = rakennuksen aikavakio (h)

$Q_{\text{tila}}$  = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

$C_{\text{rak}}$  = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti (Wh/K)

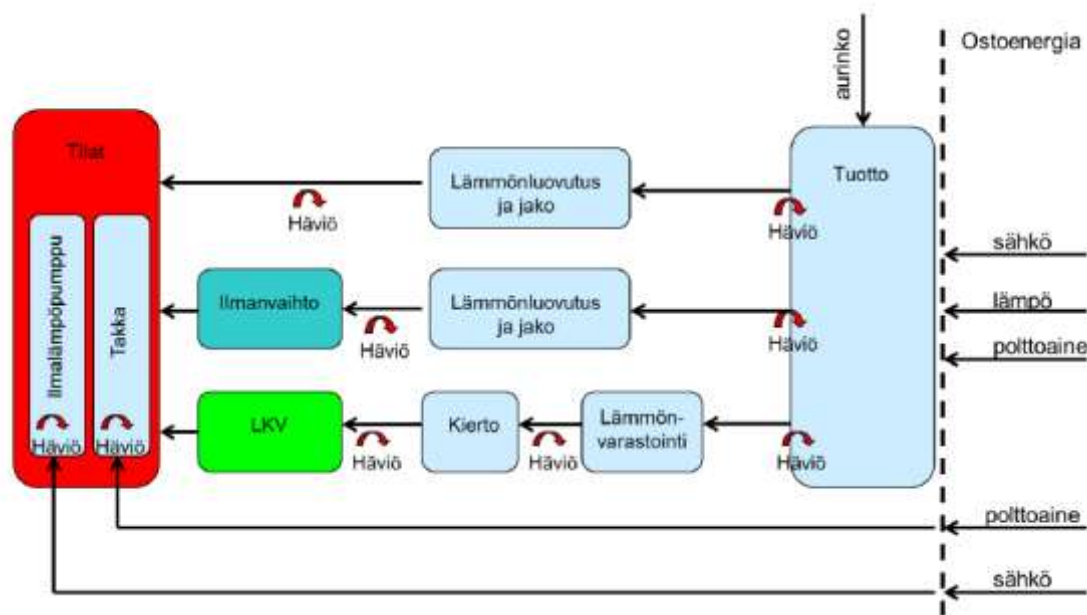
$H_{\text{tila}}$  = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (W/K)

$T_s$  = sisäilman lämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

### 3.9 Lämmitysjärjestelmä

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus lasketaan rakennuksen lämmitysenergian nettotarpeesta ottamalla huomioon järjestelmähäviöt sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus. Lämmitysjärjestelmän energiankulutus eritellään lämpö- ja sähköenergian osalta. Lämmitysjärjestelmälaskennan periaate on esitetty kuvassa 5. (10, s. 39.)



KUVA 5. Lämmitysjärjestelmän energiankulutuksen laskentaperiaate (10, s. 39)

Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan kaavalla 1, joka on esitetty aiemmin kohdassa 3.3 Rakennuksen energiankulutus. Lämmitysjärjestelmän lämpöenergian kulutus lasketaan siis tilojen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeista. Laskennassa otetaan huomioon lämmitysenergian tuoton ja varastoinnin häviöt sekä lämmönjaon ja -luovutuksen häviöt.

Lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus lasketaan kaavalla 21. Järjestelmän sähköenergian kulutus koostuu lämmönjako- ja lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sekä lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergiankulutuksesta. (10, s. 50.)

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}}$$

KAAVA 21

$W_{\text{lämmitys}}$  = lämmitysjärjestelmän sähköenergian kulutus (kWh/a)

$W_{\text{tilat}}$  = lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus

$W_{\text{tuotto, apu}}$  = lämmöntuottojärjestelmän apulaitteiden sähköenergian kulutus

$W_{\text{lkv, pumppu}}$  = lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergian kulutus



## **4 TUTKIMUSKOhteET JA -MENETELMÄT**

Tutkimuskohteina työssä oli Iisalmen kaupungin kouluja, päiväkoteja sekä toimistorakennuksia. Tässä opinnäytetyön raportissa tarkastelu keskittyy vain koulurakennuksiin. Tavoitteellisen energiankulutuksen laskentaa ja eri tekijöiden vaikutuksia kiinteistön energiankulutukseen tarkastellaan esimerkinomaisesti yhden koulukiinteistön avulla.

Päiväkoti- ja toimistorakennusten energiankulutuksen laskentaan tarvittavia tietoja ei opinnäytetyön aikana ehditty kokoamaan. Kyseisien rakennuksien energiankulutuksen laskennat suoritettiin kuitenkin opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

Työssä laskettiin, kuinka paljon koulukiinteistöt kuluttavat energiaa silloin kun sisäilmaolosuhteet ovat asetettujen tavoitteiden mukaiset. Tämän tavoitteellisen energiankulutuksen selvittämistä varten tehtiin Excel-laskuri, jonka laskentamenetelmä on esitetty edellisessä luvussa.

Työssä tavoitteellista eli laskennallista energiankulutusta vertailtiin koulujen toteutuneisiin ja energiatodistuksen mukaisiin kulutuksiin. Energiankulutukset normitettiin, jotta ne olisivat vertailukelpoisia keskenään. Kulutuksen normitusta on tarkasteltu alempana.

Lisäksi työssä tarkasteltiin laskurin avulla eri tekijöiden muutoksien vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen. Laskuriin muutettiin esimerkiksi ilmanvaihdon toiminta-aikoja tai sisälämpötilaa ja tarkkailtiin, mihin muutokset vaikuttivat ja kuinka paljon. Tällä pyrittiin selvittämään potentiaalisia energiansäästökeinoja, joiden avulla kohteet saavuttaisivat tavoitteelliset energiankulutuslukemat.

### **4.1 Tavoitteellinen ja toteutunut energiankulutus**

Lähtötiedot kohdekiinteistöistä tavoitteellisen energiankulutuksen laskentaa varten koottiin FacilityInfo-huoltokirjajärjestelmästä. Pääasiallisesti energiankulutuksen laskelmissa käytetyt rakennuskohtaiset lähtötiedot ovat peräisin rakennuk-

sen suunnitelmista. Lisäksi laskennassa käytettiin lähtötietoina Suomen rakentamismääräyskokoelman (myös. RakMK) Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta -ohjeessa annettuja laskentamenetelmän ohjeita. Kohteiden toteutuneet energiankulutustiedot puolestaan kerättiin Savon Voiman PriWatti-palvelusta.

#### 4.2 Säätiiedot ja lämmitysenergiankulutuksen normitus

Suomi jaetaan neljään eri säävyöhykkeeseen, jotka on esitetty kuvassa 6. Iisalmi kuuluu säävyöhykkeeseen III, mistä johtuen rakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytettiin kyseisen vyöhykkeen säätiietoja.



KUVA 6. Säävyöhykkeet (13, s. 31)

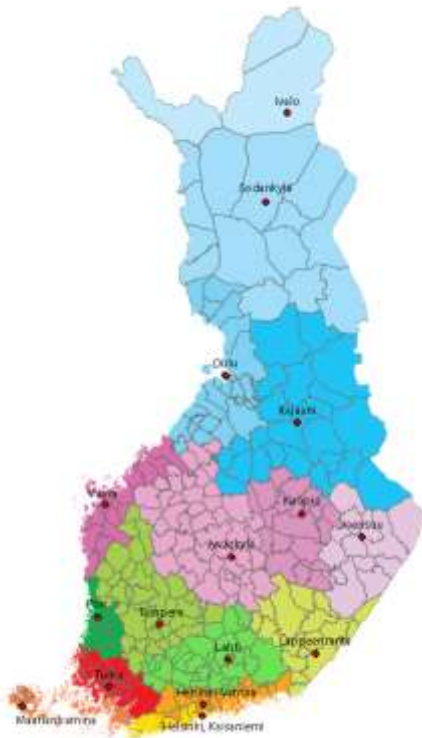
Energiankulutuksen laskennassa käytetyt testivuoden kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat on esitetty taulukossa 4. Lämpötilat pohjautuvat Jyväskylän säähavaintoasemien mittauksiin vuosilta 1980–2009.

TAULUKKO 4. Testivuoden (1980–2009) kuukausittaiset ulkoilman keskilämpötilat säävyöhykkeellä III. Jyväskylä (13, s. 31)

Kuukausi	$T_u$ [°C]
Tammi	-8,00
Helmi	-7,10
Maalis	-3,53
Huhti	2,42
Touko	8,84
Kesä	13,39
Heinä	15,76
Elo	13,76
Syys	9,18
Loka	4,07
Marras	-1,76
Joulu	-5,92
Koko vuosi	3,43

Normitettu lämmitysenergiankulutus on vertailukelpoinen riippumatta eri kuukausien ja vuosien lämpötilaeroista tai rakennuksen sijainnista. Tämän vuoksi rakennusten lämmitysenergiankulutuksia vertailtaessa on tärkeää käyttää aina normeerattuja lämmitysenergian kulutuslukemia.

Normitus tehdään lämmitystarvelukujen avulla. Ilmatieteen laitos laskee lämmitystarveluvut 16 vertailupaikkakunnalle, jotka on esitetty kuvassa 7. Normituksessa oikean vertailupaikkakunnan valinta on siis tärkeää. Esimerkiksi Iisalmen vertailupaikkakunta on Kuopio. (12.)



KUVA 7. Kuntakohtaiset normitusrajat (12, s. 5)

Normitus koskee vain rakennuksen tilojen lämmittämiseen tarvittavaa energiaa, mikä on sääriippuvaista. Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia on säästä riippumaton. Tämän vuoksi se vähennetään rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutuksesta ennen normitusta.

Kohdekiinteistöt sijaitsevat lisalmessa, mutta niiden tavoitteellisen energiankulutuksen laskentaan on kuitenkin käytetty säätietoja, jotka ovat Jyväskylästä. Tästä johtuen koulujen toteutuneet lämmitysenergiankulutukset normitetaan lisalmesta Jyväskylään, jotta ne olisivat vertailukelpoisia tavoitteellisen kulutuksen kanssa.

Rakennuksen lämmitysenergiankulutuksen normitus Jyväskylään tehdään kaavalla 22 (12, s. 2).

$$Q_{norm} = k_2 \times \frac{S_{N\text{vpkunta}}}{S_{toteutunut\text{vpkunta}}} \times Q_{toteutunut} + Q_{\text{lämmin käyttövesi}} \quad \text{KAAVA 22}$$

$Q_{norm}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergian kulutus

$k_2$  = paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään

$Q_{\text{toteutunut}}$  = rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia =  $Q_{\text{kok}} - Q_{\text{lkv}}$

$Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$  = lämpimän käyttöveden energiankulutus

$Q_{\text{kok}}$  = rakennuksen lämmitysenergiankulutus yhteensä

$S_{\text{N vpkunta}}$  = normaalivuoden tai -kuukauden (1981...2010) lämmitystarveluku  
vertailupaikkakunnalla

$S_{\text{toteutunut vpkunta}}$  = kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku  
vertailupaikkakunnalla

## 5 ESIMERKKIKOHTEN ENERGIALASKELMAT

Tässä luvussa käydään lävitse yhden tutkimuskohteen olleen koulukiinteistön tavoitteellisen energiankulutuksen laskenta. Laskennan kulku ja tulokset on esitetty tässä vain tammikuun osalta. Koulun kuukausikohtaiset energiankulutuksen laskentatulokset on esitetty liitteessä 1.

### 5.1 Laskennan lähtötiedot ja -oletukset

Esimerkkikohteenä on Kauppi-Heikin koulu. Koulu on rakennettu vuonna 2017 ja on tällä hetkellä käytössä ensimmäistä lukuvuottaan. Koulu on yksikerroksinen hirsirakennus, joka on liitetty Savon Voima Oy:n kaukolämpöverkkoon.

Energiankulutuksen laskentaan tarvittavat lähtötiedot on kerätty pääosin rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. Tavoitteellisen energiankulutuksen selvittämiseksi laskennassa käytettiin kiinteistön sisäilmasto-olosuhteille asetettuja tavoitearvoja. Myös muille energiankulutukseen vaikuttaville tekijöille käytettiin tavoitearvoja, mikäli näitä oli kiinteistön ylläpitosuunnitelmassa asetettu.

Mikäli joitain tietoja ei tunnettu tarkemmin tai tietoja ei ollut saatavilla, käytettiin lähtötietoina rakennuksen energiankulutuksen laskentaohjeessa esitettyjä ohjearvoja. Tämän lisäksi tarkempien tietojen puuttuessa on lähtötietoina käytetty energiatehokkuusasetuksessa esitettyjä rakennustyyppikohtaisia standardiarvoja (taulukko 5). Taulukossa 6 on esitetty perustietoja koulusta.

*TAULUKKO 5. Opetusrakennusten standardiarvot (11, s. 7)*

Rakennuksen käyttöajat	
h/24 h	8
d/7d	5
Sisäisten lämpökuormien ominaisarvot	
Valaistus (W/m <sup>2</sup> )	14
Laitteet (W/m <sup>2</sup> )	8
Ihmiset (W/m <sup>2</sup> )	14
Käyttöaste	
k	0,6

## TAULUKKO 6. Perustietoja rakennuksesta

RAKENNUKSEN PERUSTIEDOT		LÄHDE
Tilavuus (m <sup>3</sup> )	9197	pohjapiirustukset
Bruttoala (m <sup>2</sup> )	2088	pohjapiirustukset
Lämmitetty nettoala (m <sup>2</sup> )	2002,4	pohjapiirustukset
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku (m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ))	0,8	Mitattu
Rakennuksen tehollisen lämpökapasiteetin ominaisarvo (Wh/(m <sup>2</sup> K))	110	YM laskentaohje, taulukko 5.6

### 5.2 Tilojen lämmitysenergiantarve

Kauppi-Heikin koulun tilojen lämmitysenergiantarve lasketaan kaavalla 3. Tätä varten tulee ensin selvittää johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, vuotoilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen lämpöenergiantarve.

#### 5.2.1 Johtumislämpöhäviöt

Rakennuksen johtumislämpöhäviöt lasketaan kaavalla 23 (10, s. 17).

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{muu}} + Q_{\text{kylmäsillat}}$$

KAAVA 23

$Q_{\text{joht}}$  = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi

$Q_i$  = johtumislämpöhäviö rakennusosan i läpi

$Q_{\text{muu}}$  = johtumislämpöhäviö tilaan, jonka lämpötila poikkeaa ulkolämpötilasta

$Q_{\text{kylmäsillat}}$  = kylmäsiltojen lämpöhäviö

Koulun seinien, ylä- ja alapohjan sekä ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan kaavan 24 ja taulukon 7 tietojen avulla (10, s.18).

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

KAAVA 24

$Q_{\text{rakosa}}$  = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

$U_i$  = rakennusosan lämmönläpäisykerroin (W/(m<sup>2</sup>K))

$A_i$  = rakennusosan i pinta-ala (m<sup>2</sup>)

TAULUKKO 7. Rakennusosien pinta-alat ja U-arvot

RAKENNUSOSA	A [m <sup>2</sup> ]	U [W/(m <sup>2</sup> K)]
Ulkoseinä	681,6	0,40
Yläpohja	1852,8	0,08
Alapohja	1819	0,16
Ikkunat	220,6	0,82
pohjoinen	36,7	0,82
itä	56,3	0,82
etelä	75,4	0,82
länsi	52,2	0,82
Ovet	40,2	1,00
Yhteensä	4614,2	

$$Q_{seinät,tam.} = \frac{0,4 \frac{W}{m^2 K} * 681,6 m^2 * (21 - (-8)) K * 744 h}{1000} = 5882 kWh$$

$$Q_{yläpohja,tam.} = \frac{0,08 \frac{W}{m^2 K} * 1852,8 m^2 * (21 - (-8)) K * 744 h}{1000} = 3198 kWh$$

$$Q_{ikkunat,tam.} = \frac{0,82 \frac{W}{m^2 K} * 220,6 m^2 * (21 - (-8)) K * 744 h}{1000} = 3903 kWh$$

$$Q_{ovet,tam.} = \frac{1 \frac{W}{m^2 K} * 40,2 m^2 * (21 - (-8)) K * 744 h}{1000} = 867 kWh$$

Laskettaessa johtumislämpöhäviötä alapohjan läpi käytetään kaavassa 24 ulkoilämpötilan sijasta alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Kyseinen lämpötila lasketaan kaavojen 25 ja 26 sekä taulukon 8 tietojen avulla (10, s. 20).

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} \quad \text{KAAVA 25}$$

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi} \quad \text{KAAVA 26}$$

$T_{maa, vuosi}$  = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila

$T_{u, vuosi}$  = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila

$\Delta T_{maa, vuosi}$  = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero (5 °C)



$T_{\text{maa, kuukausi}}$  = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila  
 $\Delta T_{\text{maa, kuukausi}}$  = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (taulukko 7)

*TAULUKKO 8. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (10, s. 20)*

Kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kk}} [^{\circ}\text{C}]$
Tammi	0
Helmi	-1
Maalis	-2
Huhti	-3
Touko	-3
Kesä	-2
Heinä	0
Elo	1
Syys	2
Loka	3
Marras	3
Joulu	2

Alapohjan alapuolisen maan keskilämpötilaksi tammikuussa saadaan:

$$T_{\text{maa, kk, tammi}} = T_{\text{maa, vuosi}} + \Delta T_{\text{maa, kuukausi}} = 3,43^{\circ}\text{C} + 5^{\circ}\text{C} + 0^{\circ}\text{C} = 8,43^{\circ}\text{C}$$

Alapohjan alapuolisen maan lämpötilan ollessa tiedossa voidaan alapohjan lämpöhäviö laskea kaavalla 24.

$$Q_{\text{alapohja, tam.}} = \frac{0,16 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 1819 \text{ m}^2 * (21 - 8,43)\text{K} * 744\text{h}}{1000} = 2722 \text{ kWh}$$

Kylmäsiltojen mittatietoja ei ollut saatavilla. Tästä johtuen kylmäsiltojen johtumishäviöt laskettiin yksinkertaistetulla laskentatavalla, jossa kylmäsiltojen oletetaan olevan 10 % ulkovaipan johtumislämpöhäviöistä.

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi voidaan nyt laskea kaavalla 23.

$$Q_{\text{joht, tam}} = (5882 + 3198 + 2722 + 3903 + 867 + 1657)\text{kWh} = 18230 \text{ kWh}$$

### 5.2.2 Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Rakenteiden epätiiviyksien kautta rakennukseen tulee vuotoilmaa, jonka lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 27 (10, s. 21).

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 27}$$

Kaavassa 27 esiintyvä vuotoilmavirta ( $q_{v,vuotoilma}$ ) lasketaan kaavalla 28.

$$q_{vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} \quad \text{KAAVA 28}$$

$q_{v,vuotoilma}$  = vuotoilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$q_{50}$  = rakennusvaipan ilmanvuotoluku ( $\text{m}^3/(\text{h m}^2)$ )

$A_{vaippa}$  = rakennusvaipan pinta-ala ( $\text{m}^2$ )

$x$  = kerroin, joka riippuu rakennuksen kerrosten lukumäärästä

Kauppis-Heikin rakennusvaipan ilmanvuotoluku oli mitattu, ja sen arvoksi oli saatu  $0,8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ . Kauppis-Heikki on yksikerroksien rakennus, joten  $x = 35$ . Näiden tietojen avulla voidaan laskea vuotoilman lämpöenergian tarve tammikuussa.

$$\begin{aligned} Q_{vuotoilma} &= 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1000 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \frac{0,8 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)}{3600 * 35} * 4614,2 \text{ m}^2 * (21 - (-8)) \text{ K} * \frac{744 \text{ h}}{1000} \\ &= 759 \text{ kWh} \end{aligned}$$

### 5.2.3 Tuloilman lämpeneminen tilassa

Tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan erikseen jokaiselle ilmanvaihtokoneelle kaavalla 29. Tässä on laskettu esimerkiksi vain yhdelle IV-koneelle.

$$Q_{iv,tuloilma} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} (T_s - T_{sp}) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 29}$$

$t_d$  = ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte,  $\text{h}/24\text{h}$

$t_v$  = ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte,  $\text{vrk}/7 \text{ vrk}$

$$Q_{iv,tuloilma} = 0,6488 * 1,205 * \frac{kg}{m^3} * 1000 \frac{J}{kg K} * 3,85 \frac{m^3}{s} * (21 - 18)K * \frac{744h}{1000}$$

$$= 6718 kWh$$

#### 5.2.4 Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve

Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 30 (10, s. 25).

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad \text{KAAVA 30}$$

Korvausilmavirta lasketaan kaavalla 31 (10, s. 25).

$$q_{v,korvausilma} = \sum t_d t_v q_{v,poisto} - \sum t_d t_v q_{v,tulo} \quad \text{KAAVA 31}$$

Korvausilmavirta laskettiin ilmanvaihtojärjestelmän tietojen (kohta 5.3) avulla ja sen arvoksi saatiin 0,065 m<sup>3</sup>/s. Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeeksi tammikuussa saadaan näin ollen:

$$Q_{iv,korvausilma} = 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1000 \frac{J}{kg K} * 0,065 \frac{m^3}{s} * (21 - (-8))K * \frac{744 h}{1000} = 1688 kWh.$$

#### 5.3 Ilmanvaihtojärjestelmä

Kauppi-Heikin koululla on neljä tulo-poistoilmanvaihtokonetta, joista jokainen on varustettu lämmöntalteenotolla. Lisäksi kiinteistössä on kolme huippuimuria, joissa lämmöntalteenottoa ei ole. IV-koneiden ja huippuimureiden ilmavirtoina käytettiin LVI-suunnitelmien mukaisia arvoja. Laitteiden tekniset tiedot koottiin tuotekorteista. Kyseiset tiedot on esitetty taulukossa 9.

Ilmanvaihdon käyttöaikoina käytettiin ilmanvaihdolle asetettuja tavoitetoiminta-aikoja, jotka on esitetty taulukossa 10. Ilmanvaihtokoneet käyvät täydellä teholla

rakennuksen käyttöaikana. Illat ja viikonloput koneet käyvät puolella teholla. Lisäksi laskennassa oletettiin, että IV-koneet käyvät puolella teholla kesä- ja heinäkuun, jolloin koulut eivät ole yleensä käytössä.

*TAULUKKO 9. Ilmanvaihtojärjestelmän perustiedot*

ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ				
IV-KONEET	301	302	303	304
Ilmavirrat (tulo/poisto) (m <sup>3</sup> /s)	3,85/3,85	1,86/1,88	0,53/0,53	0,7/0,74
Poistoilman LTO:n hyötysuhde	0,726	0,801	0,825	0,831
SFP-luku (kW/(m <sup>3</sup> /s))	1,65	1,77	1,42	1,5
HUIPPUIMURIT	306	307	308	
Ilmavirrat (tulo/poisto) (m <sup>3</sup> /s)	0/0,15	0/0,01	0/0,01	
Poistoilman LTO:n hyötysuhde	0	0	0	
SFP-luku (kW/(m <sup>3</sup> /s))	1,67	5,2	5,2	

*TAULUKKO 10. Ilmanvaihtokoneiden tavoiteajat*

ILMANVAIHDON KÄYTTÖAJAT		
LAITETUNNUS	NOPEUDET	klo - klo
301	1/1	07.00 - 17.00
	1/2	17.00 - 07.00
302	1/1	07.00 - 17.00
	1/2	17.00 - 07.00
303	1/1	07.00 - 17.00
	1/2	17.00 - 07.00
304	1/1	07.00 - 17.00
	1/2	17.00 - 07.00
306	1/1	* 1 h/d
307	1/1	0.00 - 24.00
308	1/1	0.00 - 24.00

Ilmanvaihtojärjestelmän energiankulutus eritellään sähkö- ja lämpöenergian osalta. Ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve lasketaan jokaiselle ilmanvaihtokoneelle kaavalla 6. Tässä laskenta on esitetty vain yhden IV-koneen osalta (IV-kone 301). Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitysenergiankulutuksen laskennassa oletettiin, että ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto ja jälkilämmitys eivät ole käytössä kesä- ja heinäkuussa. Laskentaan tarvittava lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila saadaan kaavalla 7.

$$T_{LTO} = T_u + \frac{\eta_{a,IV-kone} \cdot q_{v,poisto} \cdot (T_s - T_u)}{q_{v,tulo}} = -8^\circ C + \frac{0,726 \cdot 3,85 \frac{m^3}{s} \cdot (21 - (-8))^\circ C}{3,85 \frac{m^3}{s}} = 13,05^\circ C$$

$$Q_{iv} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left( (T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000$$

$$Q_{iv} = 0,6488 \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1000 \frac{J}{kg K} \cdot 3,85 \frac{m^3}{s} \cdot ((18 - 0,5) - 13,05) K \cdot \frac{744 h}{1000} = 9957 kWh$$

Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksen laskennassa oletettiin, että IV-koneiden lämmityspattereiden hyötysuhde on 1, jolloin  $Q_{lämmitys,iv} = Q_{iv}$  (10, s. 43).

Sähkönkulutus lasketaan erikseen jokaiselle IV-koneelle ja huippuimurille kaavan 8 ja taulukon 8 tietojen avulla. Seuraavassa on laskettu IV-koneen 301 sähkönkulutus.

$$W_{ilmanvaihto,301,tammi} = 0,6488 \cdot 1,65 \frac{kW}{\frac{m^3}{s}} \cdot 3,85 \frac{m^3}{s} \cdot 744h = 3066 kWh$$

Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys- ja sähköenergiankulutus saadaan summaamalla yhteen jokaisen rakennuksen IV-koneen sekä huippuimurin kulutukset.

## 5.4 Käyttövesijärjestelmä

Taulukossa 11 on esitetty perustiedot Kauppiis-Heikin käyttövesijärjestelmästä.

TAULUKKO 11. Käyttövesijärjestelmän perustiedot

KÄYTTÖVESIJÄRJESTELMÄ		LÄHDE
Tavoitteellinen vedenkulutus (l/(m <sup>3</sup> , a))	80	Talotekniikan toiminta-arvot
Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmä	kaukolämpö	Suunnitteluasiakirjat
Lämpimän käyttöveden varaaja	ei varaajaa	Suunnitteluasiakirjat
Lämpimän käyttöveden kierto	kyllä	Suunnitteluasiakirjat
Lämpimän käyttöveden kierron lämmityslaitteet	ei ole	Suunnitteluasiakirjat
Lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde	0,89	YM laskentaohje, taulukko 6.4, kierto, eristys 1,5D
Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö (W/m)	6	YM laskentaohje, taulukko 6.6, eristystaso 1,5D

Kauppis-Heikin koulussa oli asetettu tavoitteelliseksi vedenkulutukseksi 80 l/rm<sup>3</sup>, a. Koulun tilavuus huomioiden saadaan koko vuoden tavoitteelliseksi vedenkulutukseksi 736 m<sup>3</sup>. Lämpimän käyttöveden osuus arvioitiin olevan tästä noin 30 % eli 221 m<sup>3</sup>. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve voidaan nyt laskea kaavalla 10.

$$Q_{lkv,netto,tammi} = \left(\frac{744}{8760}\right) * \left(1000 \frac{kg}{m^3} * 4,2 \frac{kJ}{kgK} * 221m^3 * \frac{(55-5)K}{3600}\right) = 1094 kWh/a$$

Koulun käyttövesijärjestelmässä on lämpimän käyttöveden kierto, mistä johtuen kiertojohdon lämpöhäviöt tulee laskea erikseen kaavalla 11. Lisäksi tulee laskea lämpimän käyttöveden kiertopumpun sähköenergiakulutus. Kiertopumpun sähköenergiakulutus lasketaan kertomalla pumpun moottorin ottoteho pumpun käyttöajalla.

$$Q_{lkv,kierto} = (\varphi_{lkv,kiertohäviö,omin} L_{lkv} + \varphi_{lkv,lämmitys,omin} n_{lämmityslaite}) \frac{t_{lkv,pumppu} 365}{1000}$$

$$Q_{lkv,kierto,tammi} = \left(6 \frac{W}{m} * 400 m + 0 * 0\right) \frac{24 h * 365}{1000} * \frac{744}{8760} = 1788 kWh$$

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia lasketaan kaavalla 9 hyödyntäen taulukon 11 tietoja.

$$Q_{lämmitys,lkv} = \frac{Q_{lkv,netto}}{\eta_{lkv,siirto}} + Q_{lkv,varastointi} + Q_{lkv,kierto}$$

$$Q_{lämmitys,lkv} = \frac{1094 kWh}{0,89} + 0 + 1788 kWh = 3016 kWh$$

## 5.5 Valaistus ja kuluttajalaitteet

Kauppis-Heikin valaistus on toteutettu pääsääntöisesti LED-valaisimia käyttäen ja sitä ohjataan läsnäolon ja luonnonvalotunnistuksen mukaan. Valaistuksen sähkönkulutus laskettiin kaavalla 31.

$$W_{\text{valaistus}} = \sum f P_{\text{valaisin}} n \Delta t / 1000$$

KAAVA 31

$f$  = valaistuksen ohjaustavasta riippuva ohjauskerroin

$P_{\text{valaistus}}$  = valaisimen sähköteho (W)

$n$  = valaisimien lukumäärä

$\Delta t$  = valaistuksen käyttöaika (h)

Tiedot koulun valaisimista saatiin sähkösuunnitelmista. Ohjauskertoimen arvona käytettiin laskentaohjeessa esitettyä ohjearvoa 0,7. Valaistuksen käyttöajoista ei ollut tarkempia tietoja, mistä johtuen laskennassa käytettiin opetusrakennusten valaistuksen tyypillistä käyttöaikaa 1900 h/vuosi. Valaistuksen sähköenergiankulutukseksi tammikuussa saatiin 1434 kWh.

Kuluttajalaitteista ei ollut tarkempia erittelyjä, mistä johtuen laitteiden sähkönkulutus laskettiin rakennustyyppikohtaisten arvojen (taulukko 5) ja kaavan 13 avulla.

$$W_{\text{laitteet}} = k P A_{\text{netto}} \frac{t_d}{24} \frac{t_w}{7} \frac{8760}{1000}$$

$$W_{\text{laitteet}} = 0,6 * 8 \frac{W}{m^2} * 2002,4 m^2 \frac{8}{24} * \frac{5}{7} * \frac{8760}{1000} = 20\,047 \text{ kWh/a}$$

Laitteiden kuukausittainen sähköenergiankulutus on määritettävä vuotuisesta kulutuksesta kuukauden tuntien lukumäärän perusteella. Laitteiden sähköenergiankulutukseksi tammikuussa saatiin 1703 kWh.

## 5.6 Tiloihin vaikuttavat lämpökuormat

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden sähkönkulutus tulee kokonaisuudessaan lämpökuormaksi tiloihin. Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöistä 50 % tulee lämpökuormaksi rakennukseen.

Henkilöiden aiheuttama lämpökuorma lasketaan kaavalla 13 ja taulukon 5 arvoilla.

$$Q_{\text{henk,tammi}} = 0,6 * 14 \frac{W}{m^2} * 2002,4 m^2 \frac{8}{24} * \frac{5}{7} * \frac{744h}{1000} = 2980 \text{ kWh}$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 15.

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikk} g$$

Auringonsäteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimelle voidaan käyttää arvoa  $F_{läpäisy} = 0,75$ , jos pysyviä verhoja ja varjostuksia ei ole (10, s. 33).

$$Q_{aur,pohjoinen,tam} = 6 \frac{kWh}{m^2} * 0,75 * 36,7 m^2 * 0,342 = 56,5 kWh$$

$$Q_{aur,itä,tam} = 3,1 \frac{kWh}{m^2} * 0,75 * 56,3 m^2 * 0,342 = 44,8 kWh$$

$$Q_{aur,etelä,tam} = 9,0 \frac{kWh}{m^2} * 0,75 * 75,4 m^2 * 0,342 = 174,1 kWh$$

$$Q_{aur,länsi,tam} = 3,3 \frac{kWh}{m^2} * 0,75 * 52,2 m^2 * 0,342 = 44,2 kWh$$

$$Q_{aur,tam} = 56,5 + 44,8 + 174,1 + 44,2 = 319,5 kWh$$

Rakennuksen lämpökuorma yhteensä

$$Q_{lämpökuorma,tam} = Q_{henk,tam} + Q_{valaistus,tam} + Q_{laitteet,tam} + Q_{aur,tam} + Q_{lqv,kierto,kuorma,tam}$$

$$Q_{lämpökuorma,tam} = (2980 + 1434 + 1703 + 319 + 894) kWh = 7329 kWh$$

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 21

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u) \Delta t} 1000 = \frac{32786 kWh}{(21^\circ C - (-8^\circ C)) 744 h} / 1000 = 1519,6 \frac{W}{K}$$

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 20.

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} = \frac{110 \frac{Wh}{m^2 K} * 2002,4 m^2}{1519,6 \frac{W}{K}} = 145 h$$



Suhdeluku  $\gamma$  lasketaan kaavalla 19.

$$\gamma = \frac{Q_{\text{lämpökuorma}}}{Q_{\text{tila}}} = \frac{7329 \text{ kWh}}{32786 \text{ kWh}} = 0,22$$

Numeerinen parametri  $a$  lasketaan kaavalla 18.

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} = 1 + \frac{145 \text{ h}}{15} = 10,66 \text{ h}$$

Lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 17.

$$\eta_{\text{lämpö}} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = \frac{1 - 0,22^{10,66}}{1 - 0,22^{10,66+1}} = 1,0$$

Lämpökuormien energia, joka hyödynnetään lämmityksessä, saadaan, kun huomioidaan lämpökuormien hyödyntämisaste (kaava 16).

$$Q_{\text{sis.lämpö,tam}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma,tam}} = 1,0 * 7329 \text{ kWh} = 7329 \text{ kWh}$$

Tilojen lämmitysenergian nettotarve voidaan nyt laskea kaavalla 4.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} = 32786 \text{ kWh} - 7329 \text{ kWh} = 25457 \text{ kWh}$$

## 5.7 Lämmitysjärjestelmä

Kauppi-Heikin koulun lämmitysjärjestelmän perustiedot on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Lämmitysjärjestelmän perustiedot

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄ		LÄHDE
Sisälämpötila tavoite (°C)	21	Talotekniikan toiminta-arvot
Lämmöntuottojärjestelmä	kaukolämpö	Suunnitteluasiakirjat
Lämmönjakojärjestelmä	vesikiertoinen lattialämmitys	Suunnitteluasiakirjat
Lämmönjakojärjestelmän vuosihyötysuhde	0,8	YM laskentaohje, taulukko 6.1
Lämmön jakelujärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus (kWh/(m <sup>2</sup> a))	2,5	YM laskentaohje, taulukko 6.1
Kaukolämmön lämmöntuoton apulaitteiden sähkön ominaiskulutus (kWh/(m <sup>2</sup> a))	0,07	YM laskentaohje, taulukko 7.2
Lämmitysenergian tuoton hyötysuhde	* kuukausittaiset hyötysuhteet	YM laskentaohje, liite 1

Lämmitysjärjestelmän energiankulutus eritellään lämpö- ja sähköenergian osalta. Lämmitysjärjestelmän lämpöenergiankulutus lasketaan kaavan 1 ja taulukon 12 tietojen avulla.

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} + Q_{\text{lämmitys,iv}} + Q_{\text{lämmitys,lkv}} - Q_{\text{muu tuotto}}}{\eta_{\text{tuotto}}}$$

$$Q_{\text{lämmitys}} = \frac{31822 + 13321 + 3016}{0,98} = 49\,142 \text{ kWh}$$

Lämmitysjärjestelmän sähköenergiankulutus lasketaan kaavalla 21 taulukon 12 tietoja käyttäen.

$$W_{\text{lämmitys}} = W_{\text{tilat}} + W_{\text{tuotto,apu}} + W_{\text{lkv,pumppu}}$$

$$W_{\text{lämmitys,tammi}} = \frac{744}{8760} * \left( 2002,4 \text{ m}^2 * (2,5 + 0,07) \frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2 \text{a})} \right) + 17 \text{ kWh} = 454 \text{ kWh}$$

## 5.8 Laskennan tulokset

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus lasketaan kaavalla 1 ja sähköenergiankulutus kaavalla 2. Näillä kaavoilla saatiin laskelmien lopputuloksena Kauppiis-Heikin koulun tammikuun tavoitteelliseksi energiankulutukseksi

- Energiankulutus, tammi = 58 464 kWh
  - Lämpö 49 142 kWh
  - Sähkö 9 322 kWh

## 6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Opinnäytetyötä tehtäessä Kauppi-Heikki oli käytössä vasta ensimmäistä lukukauttaan. Tästä johtuen on energiankulutuksia tarkasteltu vain ajankohtana elokuu 2017 – toukokuu 2018.

Luvussa 5 laskettiin Kauppi-Heikin koulun tammikuun tavoitteellinen energiankulutus. Koko vuoden energiankulutus on laskettu liitteessä 1. Kauppi-Heikin koulun koko vuoden tavoitteellinen energiankulutus on

- 468,9 MWh
  - Lämpö 361,8 MWh
  - Sähkö 107,1 MWh

Kauppi-Heikin koulun toteutuneet energiankulutustiedot koottiin Savon Voiman PriWatti-palvelusta.

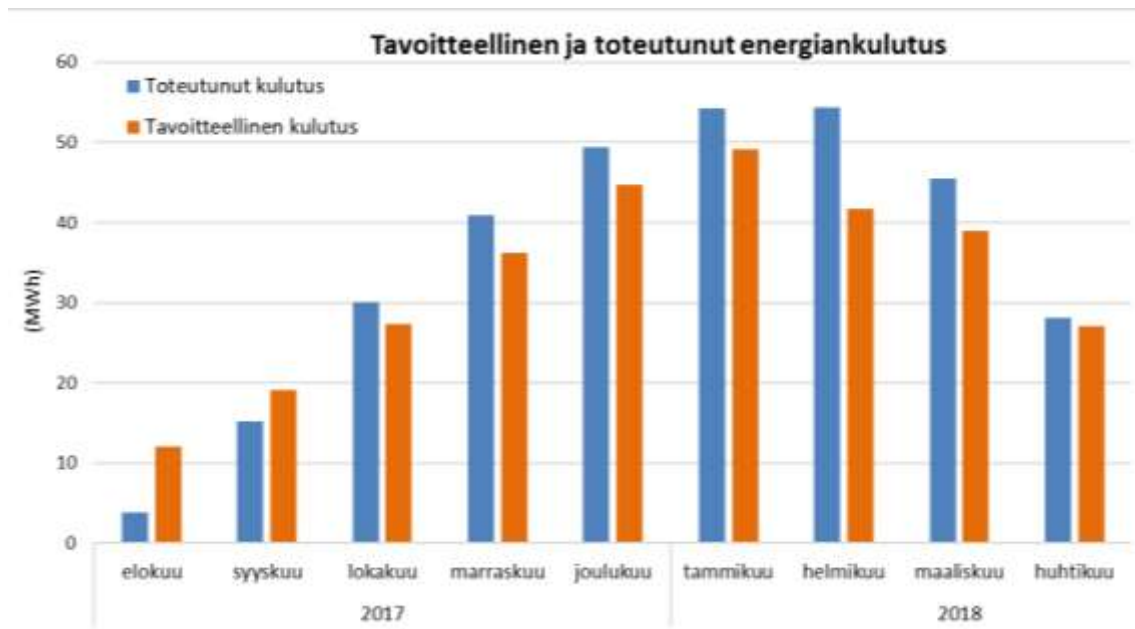
Kiinteistön tavoitteellisen ja toteutuneen lämmitysenergiankulutuksen vertailua varten kulutukset tulee normittaa. Normitus tehdään kohdassa 4.2 esitetyn menetelmän mukaisesti eli Kauppi-Heikin koulun toteutuneet energiankulutukset normitetaan Jyväskylään kaavalla 22.

Koulun toteutunut lämmitysenergiankulutus tammikuussa 2018 oli 48,24 MWh, josta lämpimän käyttöveden osuus oli 3,65 MWh. Iisalmen vertailupaikkakunta on Kuopio. Kuopion normaalikuukauden lämmitystarveluku tammikuussa on 812 ja vuoden 2018 tammikuun toteutunut lämmitystarveluku on 688 (14). Iisalmen korjauskerroin Jyväskylään on 0,96 (12, s. 5). Näillä tiedoilla voidaan normittaa koulun tammikuun toteutunut energiankulutus.

$$Q_{norm} = k_2 \times \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} \times Q_{toteutunut} + Q_{lämm\in\ k\aytt\o vesi}$$

$$Q_{norm} = 0,96 \times \frac{812}{688} \times (48,24 - 3,65)MWh + 3,65MWh = 54,17\ MWh$$

Kuvassa 8 on esitetty Kauppi-Heikin tavoitteellinen ja normitettu toteutunut kulutus. Kuvasta nähdään, että toteutuneet kulutukset eivät ole paljoa tavoitteellisia kulutuksia suurempia.



KUVA 8. Kauppi-Heikin tavoitteellinen ja toteutunut lämmitysenergiankulutus

Seuraavassa on tarkasteltu lyhyesti muutamaa yksittäistä energiansäästökeinoa, joiden avulla kohdekiinteistö voisi saavuttaa tavoitteellisen energiankulutuksen. Kiinteistöissä energiaa voidaan säästää monin eri keinoin. Keskeisimpiä energiankulutukseen vaikuttavia toimenpiteitä ovat taloteknisten järjestelmien energiatehokas säätö ja ohjaus sekä ihmisten käyttötottumukset.

### Ilmanvaihdon käyntiaikojen muutos

Kauppi-Heikin koulun ilmanvaihtojärjestelmän toiminnalle oli asetettu seuraavat tavoitteet: IV-koneet käyvät rakennuksen käyttöaikana täydellä teholla ja puolella teholla käyttöajan ulkopuolella. IV-koneet käynnistetään 1 tunti ennen rakennuksen käyttöajan alkua ja kytketään käyttöajan ulkopuoliseen tilaan 1 tunti käyttöajan päättymisen jälkeen. IV-koneet käyvät siis täydellä teholla 10 tuntia päivässä ja 14 tuntia puolella teholla. Seuraavassa on tarkasteltu koulun energiankulutuksessa tapahtuvia muutoksia, kun ilmanvaihdon täyden tehon käyntiaika olisikin 12 tunnin sijasta 10 tuntia vuorokaudessa.

*TAULUKKO 13. Ilmanvaihdon käyntiajan vaikutus Kauppi-Heikin energiankulutukseen*

**TOIMENPIDE: Ilmanvaihdon käyntiajan lyhentäminen 2 h**

	LÄMPÖ [kWh/a]	SÄHKÖ [kWh/a]
ENNEN (12 h)	371281	109599
JÄLKEEN (10 h)	361817	107093
SÄÄSTÖ [kWh]	9464	2506
SÄÄSTÖ [%]	3 %	2 %

Lyhentämällä ilmanvaihdon täyden tehon käyntiaikaa kahdella tunnilla vähenee kiinteistön lämmönkulutus noin 9500 kWh ja sähkönkulutus noin 2500 kWh. Sähkönkulutuksen pienentymisestä aiheutuva rahallinen säästö on noin 350 €/vuosi. Laskennassa käytettiin sähkön keskihintana 14 snt/kWh.

### Sisälämpötilan alentaminen

Sopivan lämpötilan ylläpitäminen kuluttaa ison osan rakennuksen energiantarpeesta. Sisälämpötilan alentamisella onkin huomattava mahdollisuus vaikuttaa rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen. Seuraavassa on tarkasteltu Kauppi-Heikin koulun lämmitysenergiankulutuksessa tapahtuvaa muutosta, kun sisälämpötilaa pudotetaan asteella.

*TAULUKKO 14. Lämpötilan alentamisen vaikutus lämmitysenergiankulutukseen*

**TOIMENPIDE: Lämpötilan pudottaminen asteella**

	Ts	LÄMPÖ [kWh/a]
ENNEN	22	418334
JÄLKEEN	21	361817
SÄÄSTÖ [kWh]		56517
SÄÄSTÖ [%]		14 %

### Valaistuksen ohjaus ja käyttöaika

Kiinteistöjen valaistuksen sähkönkulutusta pyritään yleensä vähentämään vaihtamalla valaistusta LED-tekniikkaan sekä ohjaamalla valaistusta tarpeenmukaisesti. Myös ihmisten käyttötottumuksilla on huomattava vaikutus valaistuksen sähkönkulutukseen.

Kauppi-Heikin koulun valaistus on jo toteutettu pääasiassa LED-valaisimia käyttäen, ja koulun valaistusjärjestelmässä on läsnäoloon ja luonnonvalotunnistukseen perustuva ohjaus. Nämä tekijät huomioiden saatiin koulun valaistuksen laskennalliseksi sähkönkulutukseksi 16 878 kWh.

Työssä tarkasteltiin, kuinka valaistuksen käyttöajan muutokset vaikuttavat valaistuksen sähkönkulutukseen. Lisäksi laskettiin, kuinka suuri rahallinen säästö sähkönkulutuksen pienentymisestä aiheutuu. Laskennassa käytettiin sähkön keskihintaa 14 snt/kWh. Kyseinen hinta sisältää siirron, myynnin ja sähköveron. Tulokset on esitetty taulukossa 15.

*TAULUKKO 15. Valaistuksen käyttöajan vaikutus sähköenergiankulutukseen*

**TOIMENPIDE: Valaistuksen käyttöajan lyhentäminen**

	$\Delta t$ [h/vuosi]	SÄHKÖ [kWh/a]
ENNEN JÄLKEEN	1900	16878
JÄLKEEN	1450	12881
SÄÄSTÖ [kWh]		3998
SÄÄSTÖ [€/vuosi]		560

## 7 KIINTEISTÖJEN CO<sub>2</sub>-PÄÄSTÖTARKASTELU

Kiinteistöjen ympäristövaikutukset liittyvät oleellisesti energiankulutukseen ja tätä kautta kasvihuonekaasupäästöjen muodostumiseen. Lisääntynyt tietoisuus energiantuotannon ja -käytön päästövaikutuksista on saanut kaupungit ja kunnat toimiin ja asettamaan erilaisia tavoitteita. Yleisesti energiankulutusta pyritään vähentämään ja uusiutuvia energianlähteitä hyödyntämään enemmän. Tällä tavoitellaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä ja luonnonvarojen säästämistä. Päästöjen vähentämisestä ja ns. vihreydestä on nykyään muodostunut myös imagokysymys.

Kasvihuonekaasupäästöistä erityisesti hiilidioksidipäästöihin kiinnitetään yhä enemmän huomiota, ja CO<sub>2</sub>-päästötarkastelusta onkin kehittynyt tärkeä asia kaupungeille, kuten myös muille energia-asioiden parissa toimijoille. Kaupungit voivat vaikuttaa CO<sub>2</sub>-päästöihinsä monella tavalla, joista kiinteistöjen energiahallinta on merkittävimpiä keinoja. Tärkeää on, että kaupungit kartoittavat kiinteistöjensä energiansäästömahdollisuudet. Tämän lisäksi kaupungin tulee huolehtia, että kiinteistöt pyrkivät asettamiinsa energiankäyttötavoitteisiin, sekä huomioida energiatehokkuus omissa uudisrakennus- ja remonttikohteissaan.

Motiva on julkaissut laskentaohjeen yksittäisen kiinteistön CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaan (15). Kyseessä on yksinkertainen laskentamenetelmä, jolla voidaan arvioida yhtäaikaaisesti kohteena olevan kiinteistön energiankäytön ja sen kulutusmuutosten hiilidioksidipäästöjä.

Kiinteistön energiankäytön aiheuttamat hiilidioksidipäästöt lasketaan polttoaineiden sekä lämmön ja sähkön CO<sub>2</sub>-päästökertoimilla. Laskennassa käytetään ensisijaisesti tarkasteltavan kiinteistön lämmön- ja sähkönmyyjän ilmoittamia lämmön ja sähkön CO<sub>2</sub>-päästökertoimia. Mikäli myyjän esittämää CO<sub>2</sub>-päästökerointia ei ole saatavilla, lasketaan hiilidioksidipäästöt käyttämällä Suomen keskimääräisiä CO<sub>2</sub>-päästökertoimia, jotka julkaistaan vuosittain Motivan verkkosivulla.

Opinnäytetyön tutkimuskohteena oleva Kauppiis-Heikin koulu on liitetty Savon Voima Oy:n kaukolämpöverkkoon ja sähköverkkoon. Savon Voiman lisäalnessa



myymän kaukolämmön päästökerroin vuonna 2017 oli 313 kg(CO<sub>2</sub>)/MWh (16). Sähkön osalta vuoden 2017 päästökerroin ei ollut vielä opinnäytetyötä tehtäessä valmistunut. Tästä johtuen työssä käytettiin Savon Voiman vuonna 2016 myydyn perussähkön CO<sub>2</sub>-kerrointa, joka oli 276,8 kg(CO<sub>2</sub>)/MWh (17).

## 7.1 Kaukolämmönkäytön ja sen kulutusmuutosten CO<sub>2</sub>-päästöjen laskenta

Kiinteistön kaukolämmönkulutuksen CO<sub>2</sub>-päästöt lasketaan yksinkertaisesti kertomalla ostolämmön kokonaiskulutus kaukolämmön CO<sub>2</sub>-päästökertoimella. Kauppi-Heikin koulun tavoitteellinen eli laskennallinen kaukolämmönkulutus on 362 MWh/vuosi. Ilmanvaihdon käyntiaikoja muuttamalla alenee lämmönkulutus 9 MWh/vuosi. Kokonaispäästöjen ja säästötoimenpiteen laskentatulokset on esitetty taulukossa 16.

*TAULUKKO 16. Esimerkki Kauppi-Heikin koulun lämmönkulutuksen kokonaispäästöt*

LÄMPÖ:	
Kaukolämmön CO <sub>2</sub> -päästökerroin:	313 kg CO <sub>2</sub> /MWh
Kiinteistön lämmönkulutus:	362 MWh/a
Ostolämmön kokonaispäästöt:	113 tCO <sub>2</sub> /a
<b>SÄÄSTÖTOIMENPIDE:</b>	Ilmanvaihdon käyntiajan lyhentäminen
Kaukolämmönkulutus pienenee:	9 MWh/a
CO <sub>2</sub> -päästöt pienenevät:	2,96 tCO <sub>2</sub> /a

## 7.2 Sähkönkäytön ja sen kulutusmuutosten CO<sub>2</sub>-päästöjen laskenta

Kiinteistön sähkönkäytön hiilidioksidipäästöt lasketaan kertomalla ostosähkö sähkön CO<sub>2</sub>-päästökertoimella. Ensisijaisesti laskennassa käytetään sähkönmyyjän ilmoittamaa myydyn sähkön CO<sub>2</sub>-päästökerrointa (K1). Lisäksi suositellaan laskemaan sähkönkäytön CO<sub>2</sub>-päästöt Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästökertoimella (K2). Vuonna 2016 keskimääräinen sähkön tuotannon CO<sub>2</sub>-päästökerroin oli 164 kg (CO<sub>2</sub>)/MWh (18).

Kauppi-Heikin koulun tavoitteellinen eli laskennallinen sähkönkulutus on 107 MWh/vuosi. Lyhentämällä valaistuksen käyttöaikaa 450 h/vuosi pienenee sähkönkulutus noin 4000 kWh/vuosi. Sähkönkäytön kokonaispäästöt ja säästötoimenpiteen vaikutukset CO<sub>2</sub>-päästöihin on esitetty taulukossa 17.

*TAULUKKO 17. Kauppi-Heikin sähkönkäytön CO<sub>2</sub>-päästötarkastelua*

SÄHKÖ:			
Sähkönmyyjän sähkön CO <sub>2</sub> -päästökerroin (K1):		276,8	kg CO <sub>2</sub> /MWh
Sähkön keskimääräinen CO <sub>2</sub> -päästökerroin (K2):		164	kg CO <sub>2</sub> /MWh
Kiinteistön sähkönkulutus:		107	MWh/a
Sähkönkäytön kokonaispäästöt:	K1	30	tCO <sub>2</sub> /a
Sähkönkäytön kokonaispäästöt:	K2	18	tCO <sub>2</sub> /a
<b>SÄÄSTÖTOIMENPIDE:</b>		Valaistuksen käyttöajan lyhentäminen	
Sähkönkulutus pienenee:		4,00	MWh/a
CO <sub>2</sub> -päästöt pienenevät:	K1	1106,52	kg CO <sub>2</sub> /a
CO <sub>2</sub> -päästöt pienenevät:	K2	655,60	kg CO <sub>2</sub> /a

## 8 YHTEENVETO

Työssä selvitettiin tavoiteltavat energiankulutuslukemat lisälmen kaupungin kouluille, päiväkodeille ja toimistorakennuksille. Tätä varten työssä luotiin ensin Excel-laskuri, jolla voidaan arvioida rakennuksen kokonaisenergiankulutusta. Laskurissa käytetty laskentamenetelmä perustuu Suomen rakentamismääräyskoelmassa julkaistuun rakennuksen energiankulutuksen laskentaohjeeseen. Laskurin avulla laskettiin kohdekiinteistöjen tavoitteellinen lämmitys- ja sähköenergiankulutus, joita sitten verrattiin toteutuneisiin kulutuksiin. Kohdekiinteistöille pyrittiin myös löytämään mahdollisia energiansäästökeinoja.

Työn lopputuloksena saadut tavoitteelliset energiankulutuslukemat ovat suuntaa antavia. Excel-laskurissa käytetty laskentamenetelmä on yksinkertaistettu ja ottaa huomioon vain oleelliset energiankulutukseen vaikuttavat asiat. Epätarkkuutta tuloksiin aiheutti myös tietojen puuttuminen kohdekiinteistöistä. Puuttuvat tiedot jouduttiin korvaamaan laskentaohjeessa esitetyillä ohjearvoilla. Käyttämällä työssä jotakin energiankulutuksen laskentaohjelmaa olisi kohdekiinteistöjen laskenta ollut nopeampaa ja tulokset myös tarkempia. Tällöin olisi jäänyt myös enemmän aikaa tarkastella eri tekijöiden muutoksien vaikutuksia energiankulutukseen.

Työssä tarkasteltiin lyhyesti muutamia tekijöitä, joilla kiinteistöissä voitaisiin säästää energiaa. Näitä olivat muun muassa sisälämpötilan alentaminen sekä ilmanvaihdon käyntiajan ja valaistuksen käyttöajan lyhentäminen. Ilmanvaihdon osuus koulurakennuksen lämmitys- ja sähköenergiankulutuksesta on huomattava. Tämän vuoksi ilmanvaihdon käyntiajan muutokset ja erityisesti ilmanvaihdon käyttötarpeen mukaan ovat tärkeitä energiansäästökeinoja koulukiinteistöissä. Esi-merkkilaskentana muutettiin kohdekiinteistön IV-koneiden täyden tehon käyntiaikaa kaksi tuntia lyhyemmäksi. Muutoksen seurauksena koulun vuotuinen lämmitysenergian kulutus väheni 3 % ja sähkönkulutus 2 %. Sähkönkulutuksen pienentymisestä aiheutuva rahallinen säästö oli noin 350 €/vuosi.

Energiansäästötoimenpiteitä suunniteltaessa tulee muistaa, että energiansäästöstä aiheutuva taloudellinen hyöty ei saa mennä ihmisten terveyden edelle. Esimerkiksi sisälämpötilaa alentamalla voidaan pienentää lämmitysenergiankulutusta huomattavasti, mutta liian alhainen lämpötila haittaa viihtyvyyttä ja voi aiheuttaa terveysongelmia.

Nykyisin energiankäyttöön ja siitä aiheutuviin päästöihin kiinnitetään yhä enemmän huomiota ilmastonmuutoksen takia. Rakennusten energiankulutus muodostaa merkittävän osan kokonaisenergiankulutuksesta, mistä johtuen rakennusten energiatehokkuuden parantamisella ja energiankäytön vähentämisellä pystytään vaikuttamaan huomattavasti ilmastonmuutoksen hillitsemiseen.

Ihmisten lisääntynyt tietoisuus energiankäytön vaikutuksista sekä rakennusten energiatehokkuuteen liittyvät lait, määräykset ja tavoitteet ovat vaikuttaneet ja tulevat myös vaikuttamaan huomattavasti rakennusten energiankulutuksen muutokseen. Erityisesti kaupungeilla on iso rooli tässä kiinteistöjen energiankäytön ja sen aiheuttamien päästöjen vähentämisessä, ja suurin osa onkin ottanut haasteen jo vastaan.

## LÄHTEET

1. Energiatilasto 2017. 2016. Tilastokeskus. Saatavissa: [http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset\\_julkaisut/energia2017/data/kalvo1\\_s.pdf](http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2017/data/kalvo1_s.pdf)  
Hakupäivä 30.5.2018.
2. Rakennuksen energia- ja ekotehokkuus. 2016. Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen\\_energia\\_ja\\_ekotehokkuus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus). Hakupäivä 29.5.2018.
3. Vuolle, Mika 2005. Laskelmat rakennusten energiataloudessa ja sisäilmaston hallinnassa. Rakentajain kalenteri 2005. Helsinki: Rakennustieto. S. 457–461. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK050305.pdf> Hakupäivä 5.4.2018.
4. Sandberg, Esa 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
5. LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Espoo: Sisäilmayhdistys ry. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/10440> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 13.3.2018.
6. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy
7. Ilmanvaihdon mitoituksen perusteet. 2017. Loppuraportti ympäristöministeriön hankkeista. Selvitys muiden kuin asuinrakennuksen tilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista ja selvitys asuinrakennuksen asuintilojen ja yhteistilojen ilmanvaihdon mitoituksesta ja tilakohtaisista ohjearvoista. 2017. Helsinki: FINVAC ry. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Terveellisyys). Hakupäivä 7.4.2018.

8. Kiinteistön käyttäjän energiatehokkuus. Granlund. Saatavissa: <http://www.granlund.fi/palvelut/energiatehokkuus/kiinteiston-kayttajan-energiatehokkuus/>. Hakupäivä 7.4.2018.
9. Kiinteistön käyttäjien opastus. 2016. Motiva. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energiankaytto/kiinteistojen\\_kayttajien\\_opastus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/kiinteistojen_kayttajien_opastus). Hakupäivä 7.4.2018.
10. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentamisen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentamisen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 13.3.2018.
11. 27.12.2017/1010. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.
12. LVI 10-10555. 2014. Lämmitystarveluku. Rakennusten energiankulutuksen seuranta. Helsinki: Rakennustieto Oy.
13. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [https://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012\\_Suomi.pdf](https://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 30.5.2018.
14. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. 2018. Ilmatieteen laitos. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>. Hakupäivä 30.5.2018
15. Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskentaohjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2012. Motiva. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto\\_suomessa/co2-laskentaohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-laskentaohje\\_yksittainen\\_kohde](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-laskentaohje_yksittainen_kohde). Hakupäivä 31.5.2018.
16. Kaukolämpö. 2017. Savon Voima. Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/yhteiskuntavastuuraportti-2017/ymparisto/kaukolampo/>. Hakupäivä 31.5.2018.

17. Edullinen sähkösopimus kaikkialle Suomeen. 2017. Savon Voima. Saatavissa: <https://www.savonvoima.fi/sahkon-myynti/>. Hakupäivä 30.5.2018.
18. CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. 2018. Motiva. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto suomessa/co2-laskentaohje\\_energiankulutuksen\\_hiilidioksidipaastojen\\_laskentaan/co2-paastokertoimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet). Hakupäivä 30.5.2018.

JOHTUMISLÄMPÖHÄVIÖT RAKENNUSVAIPAN LÄPI								
Kuukausi	Q <sub>ulkoseinä</sub> [kWh]	Q <sub>yläpohja</sub> [kWh]	Q <sub>alapohja</sub> [kWh]	Q <sub>ikkuna</sub> [kWh]	Q <sub>ovi</sub> [kWh]	Q <sub>muu</sub> [kWh]	Q <sub>kylmäsiilat</sub> [kWh]	Q <sub>joht</sub> [kWh]
Tammi	5882	3198	2722	3903	867	0	1657	18230
Helmi	5148	2799	2654	3416	759	0	1478	16254
Maalis	4976	2705	3155	3301	734	0	1487	16358
Huhti	3647	1983	3263	2420	538	0	1185	13036
Touko	2467	1341	3371	1637	364	0	918	10097
Kesä	1494	812	3053	991	220	0	657	7228
Heinä	1063	578	2722	705	157	0	522	5747
Elo	1469	798	2505	974	217	0	596	6560
Syys	2320	1261	2215	1539	342	0	768	8446
Loka	3434	1867	2072	2279	506	0	1016	11174
Marras	4468	2429	2005	2964	659	0	1253	13778
Joulu	5461	2969	2289	3623	805	0	1515	16661
Koko vuosi	41829	22741	32026	27753	6168	0	13052	143567

KUUKAUSIEN TILASTOARVOJA					TILOJEN LÄMMITYSENERGIAN KOKONAISTARVE				
Kuukausi	t [h]	T <sub>u</sub> [°C]	ΔT <sub>maa,kk</sub> [°C]	T <sub>maa,kk</sub> [°C]	Q <sub>joht</sub> [kWh]	Q <sub>vuotoilma</sub> [kWh]	Q <sub>iv,tuloilma</sub> [kWh]	Q <sub>iv,korvausilma</sub> [kWh]	Q <sub>tila</sub> [kWh]
Tammi	744	-8	0	8,43	18230	759	12110	1688	32786
Helmi	672	-7,1	-1	7,43	16254	664	10938	1477	29333
Maalis	744	-3,53	-2	6,43	16358	642	12110	1427	30537
Huhti	720	2,42	-3	5,43	13036	470	11720	1046	26272
Touko	744	8,84	-3	5,43	10097	318	12110	708	23233
Kesä	720	13,39	-2	6,43	7228	193	21405	429	29254
Heinä	744	15,76	0	8,43	5747	137	14746	305	20935
Elo	744	13,76	1	9,43	6560	189	9333	421	16503
Syys	720	9,18	2	10,43	8446	299	11720	666	21131
Loka	744	4,07	3	11,43	11174	443	12110	985	24712
Marras	720	-1,76	3	11,43	13778	576	11720	1282	27355
Joulu	744	-5,92	2	10,43	16661	704	12110	1567	31042
Koko vuosi	8760	3,43			143567	5394	152133	12000	313094



ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN LÄHTÖTIEDOT						
			Käyttöaikana		Käyttöajan ulkopuolella	
	$\eta_a$	SFP-luku, [kW/(m <sup>3</sup> /s)]	$q_{v, \text{tulo}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$q_{v, \text{poisto}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$q_{v, \text{tulo}}$ [m <sup>3</sup> /s]	$q_{v, \text{poisto}}$ [m <sup>3</sup> /s]
301TK/PK01	0,726	1,65	3,85	3,85	1,93	1,93
302TK/PK01	0,801	1,77	1,86	1,88	0,93	0,94
303TK/PK01	0,825	1,42	0,53	0,53	0,27	0,27
304TK/PK01	0,831	1,50	0,7	0,74	0,35	0,37
306PF01	0	1,67	0	0,15	0	0,15
307PF01	0	5,20	0	0,01	0	0,01
308PF01	0	5,20	0	0,01	0	0,01

ILMANVAIHDON KÄYNTIAJAT							
	Rakennuksen käyttöaikana		Käyttöajan ulkopuol. (arki)		Käyttöajan ulk.puol. (muulloin)		ka td*tv
	[h/vrk]	[d/vko]	[h/vrk]	[d/vko]	[h/vrk]	[d/vko]	
301TK/PK01	10	5	14	5	24	2	0,6488
302TK/PK01	10	5	14	5	24	2	0,6488
303TK/PK01	10	5	14	5	24	2	0,6488
304TK/PK01	10	5	14	5	24	2	0,6488
306PF01	1	7					
307PF01	24	7					
308PF01	24	7					

KUUKAUSIEN TUNNIT JA LÄMPÖTILAT			ILMANVAIHDON LÄMMITYSENERGIAN NETTOTARVE							
Kuukausi	t [h]	T <sub>u</sub> [°C]	301TK/PK01	302TK/PK01	303TK/PK01	304TK/PK01	306PF01	307PF01	308PF01	YHTEENSÄ
Tammi	744	-8,00	9957	2187	486	10	162	260	260	13321
Helmi	672	-7,10	8494	1808	395	0	142	228	228	11294
Maalis	744	-3,53	7214	1266	244	0	137	220	220	9301
Huhti	720	2,42	3448	39	0	0	101	161	161	3910
Touko	744	8,84	0	0	0	0	68	109	109	286
Kesä	720	13,39	0	0	0	0	41	66	66	173
Heinä	744	15,76	0	0	0	0	29	47	47	123
Elo	744	13,76	0	0	0	0	41	65	65	170
Syys	720	9,18	0	0	0	0	64	103	103	269
Loka	744	4,07	2550	0	0	0	95	152	152	2949
Marras	720	-1,76	5930	872	144	0	123	197	197	7465
Joulu	744	-5,92	8680	1758	373	0	151	241	241	11445
Koko vuosi	8760	3,43	46273	7930	1642	10	1155	1849	1849	60708

KUUKAUSIEN TUNNIT JA LÄMPÖTILAT			ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS								
Kuukausi	t [h]	T <sub>u</sub> [°C]	301TK/PK01	302TK/PK01	303TK/PK01	304TK/PK01	306PF01	307PF01	308PF01	W <sub>IV, muu</sub>	W <sub>ilmanvaihto</sub>
Tammi	744	-8,00	3066	1606	363	536	8	39	39	74	5731
Helmi	672	-7,10	2770	1451	328	484	7	35	35	67	5177
Maalis	744	-3,53	3066	1606	363	536	8	39	39	74	5731
Huhti	720	2,42	2968	1554	352	519	8	37	37	72	5546
Touko	744	8,84	3066	1606	363	536	8	39	39	74	5731
Kesä	720	13,39	2287	1198	271	400	8	37	37	0	4238
Heinä	744	15,76	2363	1238	280	413	8	39	39	0	4379
Elo	744	13,76	3066	1606	363	536	8	39	39	74	5731
Syys	720	9,18	2968	1554	352	519	8	37	37	72	5546
Loka	744	4,07	3066	1606	363	536	8	39	39	74	5731
Marras	720	-1,76	2968	1554	352	519	8	37	37	72	5546
Joulu	744	-5,92	3066	1606	363	536	8	39	39	74	5731
Koko vuosi	8760	3,43	34721	18188	4113	6067	91	456	456	730	64821

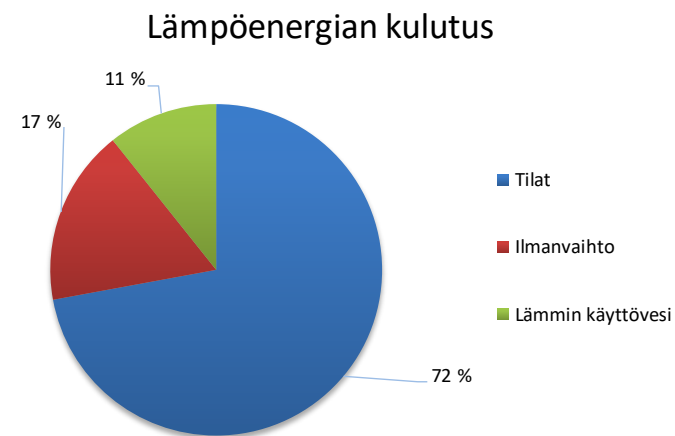
LÄMPÖKUORMAT					
$Q_{\text{henk}}$ [kWh]	$Q_{\text{valaistus}}$ [kWh]	$Q_{\text{kuluttajalaitteet}}$ [kWh]	$Q_{\text{aur}}$ [kWh]	$Q_{\text{kv,kierto,kuorma}}$ [kWh]	$Q_{\text{lämpökuorma}}$ [kWh]
2980	1434	1703	319	894	7329
2691	1295	1538	1477	807	7809
2980	1434	1703	2825	894	9835
2883	1387	1648	4349	865	11133
2980	1434	1703	6345	894	13355
2883	1387	1648	5591	865	12375
2980	1434	1703	5661	894	12671
2980	1434	1703	4464	894	11473
2883	1387	1648	3478	865	10262
2980	1434	1703	1469	894	8478
2883	1387	1648	484	865	7267
2980	1434	1703	161	894	7170
35082	16878	20047	36625	10525	119157

LÄMPÖKUORMISTA HYÖDYNNETTÄVÄ ENERGIA						
$C_{\text{rak}}$ [Wh/K]	$H_{\text{tila}}$ [W/K]	$\tau$ [h]	$\gamma$ [-]	$a$ [-]	$\eta_{\text{lämpö}}$	$Q_{\text{sis.lämpö}}$ [kWh]
220264	1520	145	0	11	1,00	7329
220264	1553	142	0	10	1,00	7809
220264	1673	132	0	10	1,00	9835
220264	1964	112	0	8	1,00	11128
220264	2568	86	1	7	0,99	13215
220264	5339	41	0	4	0,98	12087
220264	5370	41	1	4	0,93	11826
220264	3064	72	1	6	0,96	11008
220264	2483	89	0	7	1,00	10226
220264	1962	112	0	8	1,00	8478
220264	1669	132	0	10	1,00	7267
220264	1550	142	0	10	1,00	7170
220264	2560	104	0	8	0,99	117378

KUUKAUSIEN TUNNIT JA LÄMPÖTILAT			LÄMMIN KÄYTTÖVESI		
Kuukausi	t [h]	T <sub>u</sub> [°C]	Q <sub>lqv,netto</sub> [kWh]	Q <sub>lqv,kierto</sub> [kWh]	W <sub>lqv,pumppu</sub> [kWh]
Tammi	744	-8	1094	1788	17
Helmi	672	-7,1	988	1615	15
Maalis	744	-3,53	1094	1788	17
Huhti	720	2,42	1058	1730	16
Touko	744	8,84	1094	1788	17
Kesä	720	13,39	1058	1730	16
Heinä	744	15,76	1094	1788	17
Elo	744	13,76	1094	1788	17
Syys	720	9,18	1058	1730	16
Loka	744	4,07	1094	1788	17
Marras	720	-1,76	1058	1730	16
Joulu	744	-5,92	1094	1788	17
Koko vuosi	8760	3,43	12876	21049	200

LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN LÄMPÖENERGIAN KULUTUS						LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS			
Kuukausi	Q <sub>lämmitys,tilat,netto</sub>	Q <sub>lämmitys,tilat</sub>	Q <sub>lqv,netto</sub>	Q <sub>lämmitys,lqv</sub>	Q <sub>lämmitys,iv</sub>	W <sub>tilat</sub>	W <sub>tuotto,apu</sub>	W <sub>lqv,pumppu</sub>	W <sub>lämmitys</sub>
Tammi	25457	31822	1094	3016	13321	425,2	11,9	17,0	454,1
Helmi	21525	26906	988	2725	11294	384,0	10,8	15,4	410,2
Maalis	20703	25878	1094	3016	9301	425,2	11,9	17,0	454,1
Huhti	15144	18930	1058	2919	3910	411,5	11,5	16,5	439,4
Touko	10018	12522	1094	3016	286	425,2	11,9	17,0	454,1
Kesä	17167	21459	1058	2919	173	411,5	11,5	16,5	439,4
Heinä	9109	11386	1094	3016	123	425,2	11,9	17,0	454,1
Elo	5495	6868	1094	3016	170	425,2	11,9	17,0	454,1
Syys	10905	13631	1058	2919	269	411,5	11,5	16,5	439,4
Loka	16235	20293	1094	3016	2949	425,2	11,9	17,0	454,1
Marras	20088	25110	1058	2919	7465	411,5	11,5	16,5	439,4
Joulu	23872	29839	1094	3016	11445	425,2	11,9	17,0	454,1
Koko vuosi	195716	244645	12876	35516	60708	5006,0	140,2	200,5	5346,6

RAKENNUKSEN LÄMPÖENERGIAN KULUTUS				
Kuukausi	Tilat	Ilmanvaihto	Lämmin käyttövesi	Yhteensä
Tammi	32471	13593	3078	49142
Helmi	27455	11524	2780	41759
Maalis	26406	9491	3078	38976
Huhti	19926	4116	3073	27115
Touko	14230	325	3428	17983
Kesä	25854	209	3517	29580
Heinä	13886	150	3679	17715
Elo	8275	205	3634	12115
Syys	15489	306	3317	19113
Loka	21139	3072	3142	27353
Marras	25623	7617	2979	36219
Joulu	30141	11561	3047	44749
Koko vuosi	260895	62170	38752	361817



RAKENNUKSEN SÄHKÖENERGIAN KULUTUS					
Kuukausi	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ilmanvaihto	Lämmitys	Yhteensä
Tammi	1434	1703	5731	454	9322
Helmi	1295	1538	5177	410	8419
Maalis	1434	1703	5731	454	9322
Huhti	1387	1648	5546	439	9021
Touko	1434	1703	5731	454	9322
Kesä	1387	1648	4238	439	7712
Heinä	1434	1703	4379	454	7969
Elo	1434	1703	5731	454	9322
Syys	1387	1648	5546	439	9021
Loka	1434	1703	5731	454	9322
Marras	1387	1648	5546	439	9021
Joulu	1434	1703	5731	454	9322
Koko vuosi	16878	20047	64821	5347	107093

